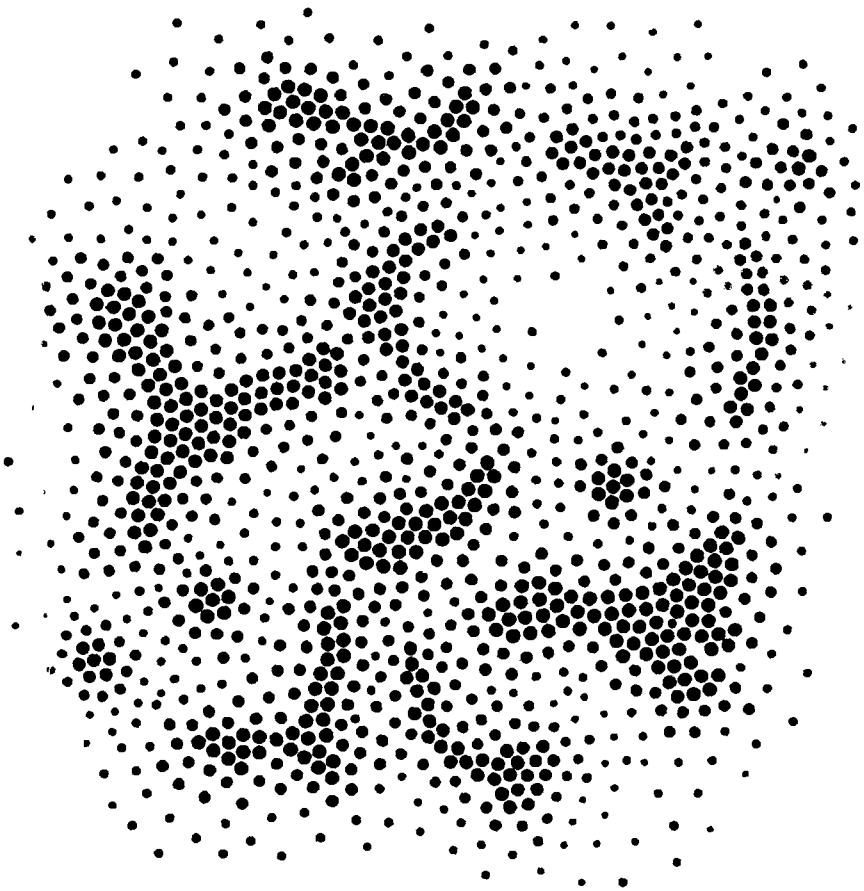
Filosofía y sociología de la ciencia

Stewart Richards



Acceso Abierto

XXI

ciencia
y
técnica

traducción de
SERGIO FERNÁNDEZ BRAVO

FILOSOFÍA Y SOCIOLOGÍA DE LA CIENCIA

por

STEWART RICHARDS

siglo veintiuno editores

MÉXICO
ESPAÑA
ARGENTINA
COLOMBIA

siglo veintiuno editores, sa de cv
CERRO DEL AGUA 248, DELEGACIÓN COYOACÁN, 04310 MÉXICO, D F

Creative Commons

edición al cuidado de homero alemán
portada de maría luisa martínez passarge

primera edición en español, 1987
segunda edición en español, 2000
© siglo xxi editores, s.a. de c.v.
isbn 968-23-1401-1

primera edición en inglés, 1983
© basil blackwell
título original: *philoshophy & sociology of science*

derechos reservados conforme a la ley
impreso y hecho en méxico/printed and made in mexico

ÍNDICE

PREFACIO 9

INTRODUCCIÓN 11

PRIMERA PARTE
MÉTODOS Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

1. LA ESTRUCTURA DE LA CIENCIA 17

Una visión científica del mundo, 17; Leyes científicas, 19; Teorías científicas, 21

2. EL ARGUMENTO CIENTÍFICO: EL PAPEL DE LA LÓGICA 24

Deducción, 25; Inducción, 31; Lógica y significado, 35

3. LA ACTITUD CIENTÍFICA: LA CIENCIA EN LA PRÁCTICA 40

Características generales de la ciencia, 40; Los científicos en acción, 44

4. FILOSOFÍAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO: TEORÍAS DE LA CIENCIA 57

Aristóteles, 57; El método inductivo reformado, 58; El método hipotético-deductivo, 65; Desarrollos recientes, 74

5. LA NATURALEZA DE LA CIENCIA: CIENCIAS FÍSICA, BIOLÓGICA Y SOCIAL 87

La ciencia moderna y su filosofía, 87; Los fundamentos de la física moderna, 89; Las ideas de la biología, 93; Las ciencias sociales, 102

SEGUNDA PARTE
INTERACCIONES DE CIENCIA Y SOCIEDAD

6. ESTUDIOS SOCIALES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA 111

Aspectos cuantitativo y cualitativo de la ciencia, 111; Aspectos estructurales y funcionales de la ciencia pura, 120; Ciencia, tecnología e industria, 129; Aspectos políticos y económicos de la investigación y el desarrollo, 149

7. DIMENSIONES ÉTICAS DE LA CIENCIA 158

Ética, ciencia y sociedad, 158; "Cientismo": la ciencia como modelo para la sociedad, 160; La sociedad científica como tal, 168; La "neutralidad" de la ciencia, 172; Algunos dilemas éticos, 174; Problemas morales en la ciencia y en la guerra, 191

8. CIENCIA, CULTURA Y RELIGIÓN 197

La estratificación social de la ciencia, 198; Estudios científicos críticos, 202; La ciencia y la visión religiosa del mundo, 215

BIBLIOGRAFÍA 225

ÍNDICE DE TÉRMINOS 231

PREFACIO

Éste es un libro sobre ciencia escrito por un científico profesional. No trata de los hechos y teorías de una sola disciplina, sino de las cuestiones más amplias, importantes para todo aquel que estudia o practica las ciencias naturales y sociales. Aunque principalmente está dirigido a los estudiantes de ciencia, puede también ser útil para proporcionar una primera visión de conjunto a quienes inician un estudio detallado de las relaciones filosóficas y sociales de las ciencias, como temas por derecho propio. El propósito de la bibliografía selectiva es por lo tanto dirigir a los lectores especializados hacia un trabajo más avanzado.

Sin embargo, pocos de los libros enlistados serán leídos por los que están relacionados con la práctica de una ciencia particular, ya que, para ellos, teorizar sobre lo que ésta podría o no ser, sobre cómo ha avanzado y cómo está relacionada con otras disciplinas o con asuntos humanos más amplios, puede consistir sólo en una actividad para el tiempo libre. Los científicos son normalmente poco inclinados a leer libros que exigen un considerable conocimiento de antecedentes o que se refieren a problemas específicos que están más allá del interés del aficionado. Más aún, nunca se les ha podido convencer de que las lecturas "en torno" a su especialidad pueden ser altamente ventajosas.

La mayoría de los libros de la bibliografía han sido escritos por historiadores, filósofos o sociólogos que tienen en mente a un lector "profesional". Pocos de estos profesionales habrían escrito un libro tan general como éste, ya que tienden a pensar que simplificar temas complejos significa necesariamente distorsionarlos. No obstante, creo que para el científico profesional un conocimiento como aficionado de las amplias dimensiones de la ciencia es mucho mejor que ningún conocimiento.

Esta convicción se deriva de una experiencia que estoy seguro comparto con muchos otros. A los quince años fui elegido para una carrera científica y recibí el consejo de abandonar la historia y la literatura. Cuando ingresé en la universidad estaba ya expertamente condicionado para reconocer qué temas académicos buscar y cuáles eludir. En consecuencia experimenté un resentimiento considerable cuando se me pidió cursar dos materias, historia de la ciencia y método lógico y científico, las cuales me parecían innecesarias para alguien que se especializaba en zoología. El tiempo empleado en estos temas secundarios era tiempo que no se podía aprovechar en te-

mas esenciales, como la clasificación de los platelmintos o las suturas de cráneo de reptiles extintos, que eran rigurosamente académicas y cuyo dominio podía realmente enorgullecerme.

Subsecuentemente aprendí que mi experiencia universitaria era de hecho diferente a la de la mayoría de los estudiantes de ciencia; los cursos sobre historia y metodología de la ciencia no eran temas rutinarios, y eran los que iban a durar en mí en los años posteriores, mucho después de que la información objetiva que había almacenado en mi cabeza hubo desaparecido. Constituyeron un terreno incomparable para evaluar las actitudes a menudo contrastantes halladas en las ciencias y las humanidades, y daban sentido a mis estudios más especializados en el contexto de intereses extracientíficos más amplios. Cuando inicié mi actividad dentro de la investigación científica y la enseñanza, me pareció cada vez más claro que una perspectiva de la ciencia más amplia debía ser incluida como componente absolutamente crucial para la educación de los científicos jóvenes.

Este libro se basa en un curso que he impartido durante seis años a un grupo mixto de estudiantes de ciencias naturales y sociales en el Wye College. Fue iniciado durante una licencia de la Unidad para la Historia, Filosofía y Relaciones Sociales de la Ciencia en la Universidad de Kent, en Canterbury, Inglaterra. Tengo mucho que agradecer a Ian Lucas, rector del Wye College, y a su Comité por concederme dicha licencia, y a Maurice Crosland, profesor de Historia de la ciencia en Canterbury, por aceptarme como invitado en su Unidad. Por su ayuda para el libro en sí, agradezco especialmente a Maurice Crosland, a su colega Alec Dolby, a René Olivieri, de Basil Blackwell Publisher, y a varios de sus lectores anónimos. Otros más que fueron lo suficientemente bondadosos como para leer y criticar partes del manuscrito, o con quienes sostuve útiles discusiones, fueron Christina Creek, Alec Douglas, Andrew Hill, Jeremy Naydler, Michael Preston y Crosbie Smith. Sus consejos y su apoyo fueron esenciales para mejorar el libro, de cuyos probables defectos, por supuesto, sólo yo soy el responsable.

STEWART RICHARDS
Wye College, Universidad de Londres

RECONOCIMIENTOS

Las siguientes son las fuentes de algunas de las ilustraciones. Agradecemos profundamente el permiso otorgado para utilizarlas.

Figura 2: S. Hales, *Vegetable Staticks* (Londres, reimpresión Mac Donald, 1969), lámina 6. Figura 3: F. R. Bradbury [comp.], *Words and Numbers* (Edimburgo, University Press, 1969), frente a la p. 84. Figura 5: H. Rose, y S. Rose, *Science and Society* (Londres, Pelican, 1977), p. 5. Copyright, Hilary Rose y Stephen Rose, 1969; reimpreso con autorización de Penguin Books Ltd. Figuras 6 y 7: D. de Solla Price, *Science since Babylon* (New Haven, Yale University Press, 1961), pp. 97 y 116. Copyright, Derek de Solla Price, 1961. Figura 8: (dibujada y modificada) C. Freeman, *The Economics of Industrial Innovation* (Londres, Penguin, 1974), p. 314. Figuras 9 y 10: E. Braun y D. Collingridge, *Technology and Survival* (Londres, Butterworths, 1977), pp. 42 y 45; de acuerdo con D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers y W. W. Behrens, III, *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind* (un libro de Potomac Associates publicado por Universe Books, Nueva York, 1972; gráficas de Potomac Associates), figuras 35 y 46. Cuadro 2: N. D. Ellis, "The Occupation of Science", en *Technology and Society*, 5 (Bath, University Press, 1969), p. 40.

La ciencia física no me consolará de la ignorancia de moralidad en tiempos de aflicción. Pero la ciencia de la ética siempre me consolará de la ignorancia de las ciencias físicas.

PASCAL: *Pensées*

[...] qué cosa tan mísera es un simple Hecho, excepto si se le ve a la luz de una Verdad general.

COLERIDGE: *The Friend*

INTRODUCCIÓN

La ciencia moderna es inseparable de la sociedad que la sostiene. Aunque en Gran Bretaña se organizó lentamente el mantenimiento público de la investigación y el desarrollo científicos, durante los primeros años de este siglo la función gubernamental se incrementó constantemente, y a partir de la segunda guerra mundial se ha acelerado demasiado. Admitiendo que la ciencia "típica" del siglo XX absorbe una buena cantidad del gasto público, es hoy innegable que la sociedad obtiene la ciencia que desea y la que puede pagar.

Una vez que reconocemos la interacción de ciencia y sociedad —y abandonamos la ilusión romántica que representa a la ciencia como algo "puro", y por tanto muy por encima de los asuntos cotidianos del mundo—, nos vemos obligados a encarar toda una serie de preguntas para las que no hay respuestas fáciles. Las cuestiones concernientes a la "neutralidad" de la ciencia pronto nos envuelven en desesperantes dilemas éticos de inmediata importancia social y política. Aquellas que se proclaman "objetivas" y de confiabilidad especial como cuerpo de conocimientos, pronto quedan relacionadas con cuestiones religiosas que para mucha gente, aun en una época laica, son todavía asuntos de la máxima importancia; y aquellas que parecen ser más terrenales, relacionadas quizá con la aplicabilidad del conocimiento científico, se considera que tienen relación vital con los procesos de toma de decisiones de la política científica. Asuntos como éstos se hacen más apremiantes cada día. Si bien pocos de ellos pueden resolverse con certeza, también es cierto que ninguna respuesta responsable será posible mientras la ciencia sea tratada como si operara en el vacío.

A menudo se ha dicho que la ciencia contemporánea es demasiado peligrosa para ser dejada en manos de los científicos. A la luz de algunos desarrollos recientes como la física nuclear y la ingeniería genética, semejante actitud parece suficientemente razonable. Sin embargo, las decisiones políticas respecto a asuntos altamente técnicos no pueden tomarse *sin* consejo técnico, de manera que para los científicos es inevitable desempeñar en ello un papel importante. Pero el consejo de un científico sobre asuntos de interés público reflejará inevitablemente actitudes personales en áreas lejanas a su particular competencia profesional. Al político le importa poco que se le informe sobre la cantidad de alguna materia que se encuentra en la atmósfera o en la provisión de agua; lo que le interesa es la magnitud del peligro que ello implica. Sobre la primera cuestión (la

de la cantidad) todos los científicos pueden coincidir, pero sobre la segunda (la de la calidad) pueden surgir agudas diferencias de opinión. Desafortunadamente existen muchas áreas en donde estos dos componentes no pueden ser separados con claridad.

Éste es sin duda el punto crucial del asunto. La sociedad puede estar poco dispuesta a ceder a los científicos la responsabilidad definitiva para su desarrollo científico y técnico, pero está obligada a confiar en sus juicios sobre aquellos asuntos que son precisamente los más controvertidos. Aunque la controversia en sí nunca podrá ser eliminada, puede lograr mayor consenso el hecho de que un juicio científico está posiblemente más informado, mejor balanceado, y aun es —esperemos— más "sabio", si es proferido por alguien que ha meditado críticamente sobre su propia ciencia, sobre la naturaleza del trabajo científico en su totalidad y sus complejas interacciones con la sociedad en que funciona.

El argumento fundamental de este libro es que la calidad de la educación de un científico puede tener un efecto duradero sobre la calidad de los juicios científicos que posiblemente más adelante tenga que elaborar. De cualquier manera, la experiencia evolutiva de los jóvenes científicos es una muy estrecha de entrenamiento técnico altamente especializado, en contraposición a uno amplio de genuina educación. El Informe Robbins de 1963 recomendaba una educación más amplia para los científicos y tecnólogos, pero poco se ha hecho en la mayoría de las instituciones de educación superior para ampliarla en una perspectiva que vaya más allá de los límites estrechos de cada especialidad. Ha habido pocos

> [...] experimentos sobre nuevas combinaciones de temas que posean conexiones orgánicas reconocibles: la tecnología, por ejemplo, con algunos estudios sociales que muestren las implicaciones generales de la profesión del tecnólogo; la filosofía y las matemáticas con la historia de la ciencia, y para muchos estudiantes, algún estudio sobre el estado anterior y el actual de la disciplina que estudian.

Esta recomendación se hizo no solamente para el campo educativo, sino teniendo en mente prospectos y adaptabilidad de profesiones futuras.

Poco después del Informe Robbins se publicó *Contrary imaginations* de Liam Hudson. Ahí se examinaba la predominancia del tipo de mentalidad "convergente" sobre el "divergente" entre los jóvenes científicos. Los estudiantes que se destacan en la obra de Hudson son ahora adultos maduros, y sin embargo es dudoso que las generaciones nuevas hayan sido beneficiadas con sus hallazgos. El interés se mantiene casi exclusivamente en la "información" y en una visión de la ciencia como "un cuerpo altamente complejo de he-

chos y teorías que [el estudiante] debe dominar antes de esperar hacer contribuciones propias". Este interés puede ser por una parte justificado.

Por la otra, la ciencia no es enteramente escolástica. Por encima de una ciertamente sólida capa de conocimiento aceptado, la ciencia es revisada continua y drásticamente [...] la expectativa de vida para [una teoría típica] se ubica en algún punto de un intervalo de quince años. Con el presente sistema, por tanto, el trabajo [del estudiante] es distinto al del científico maduro, cuyas investigaciones comprenden intuición, imaginación, y la capacidad tanto de aceptar riesgos como de realizar análisis concienzudos. Admitiendo esto, es posible [...] que la educación científica, en vez de contrarrestar [...] la inflexibilidad natural [de los convergentes], tienda a reforzarla y a agravarla. La educación científica, en otras palabras, puede haber quedado desligada del mundo de la investigación al que pretende servir.

Esto sería lo suficientemente preocupante en cualquier caso, pero si la mayoría de los científicos son realmente "convergentes de alto CI", la necesidad de eliminar cualquier rigidez innata y de ampliar los horizontes intelectuales es aún más imperativa. Sin algunas experiencias divergentes se esperaría que los científicos, como lo cuenta el chiste, continuaran aprendiendo más y más sobre menos y menos hasta que supieran todo sobre nada. Ciertamente podrían llegar a creer que en realidad la ciencia opera en el vacío.

Hacer que el científico vuelva la vista hacia la ciencia misma es la forma más obvia y, aunque es discutible, la más natural, de atacar el problema. Para lograr esto, los jóvenes científicos —quienes pasan la mayor parte de su tiempo enfocando detalles técnicos— necesitan que se les anime a examinar el gran edificio del conocimiento científico desde la poco familiar perspectiva del historiador, el filósofo y el sociólogo. Sin estímulo positivo, la gran mayoría de los científicos experimentarán un razonamiento discursivo mínimo o nulo, como el característico de sus colegas que estudian humanidades. No tendrán interés por el lugar de la ciencia en la historia intelectual y social, y terminarán —exceptuando a una minoría poco representativa— su "periodo de entrenamiento" ubicados firmemente dentro de los límites de la cultura de la *ciencia*, y quizá para siempre fuera de los de la cultura de las *artes*. Aunque casi se ha convertido en acto reflejo burlarse de la mera sugerencia de que estas *dos culturas* existen (o *todavía* existen; C. P. Snow ofreció su conferencia original en 1959 y fue indudablemente el primero en señalar la separación), mucha "gente de arte" todavía alardea de lo poco prácticas que son y de lo poco que saben de ciencia y tecnología. Muchos científicos todavía se sobresaltan ante cualquier punto de vista que no puede ser cuantificado, condenándolo como meramente

subjetivo si no es que se le descarta en conjunto mediante una cortina de humo de filisteísmo y amenazas.

La filosofía de la ciencia, estudiada a la luz de la historia, ofrece al estudiante una mezcla singular de artes y ciencias, de análisis y síntesis. La actitud filosófica es la que, más que ninguna otra, anima al conocimiento de las características intrínsecas de la ciencia, como cuerpo de conocimientos y como método de investigación sobre el mundo. El enfoque que adoptamos aquí destaca la estructura de la ciencia moderna, y presta relativamente menos atención a la manera en que fue construida esa estructura. Los sucesos históricos se usan por lo tanto sólo para ofrecer realidad concreta a las ideas filosóficas más abstractas, o para tener acceso a la mente del científico en su trabajo.

Explotando la naturaleza complementaria de estas dimensiones separadas, no nos será difícil ver cómo la familiaridad con la lógica del argumento científico concentra la mente del científico practicante en las cuestiones más importantes de su trabajo. Si armar rompecabezas es parte de la práctica científica, el científico que posea una perspectiva filosófica será el que probablemente pueda colocar correctamente las piezas del rompecabezas y el más sagaz para identificar qué disposiciones podrán tener la calidad de una solución. Dividiendo esos detalles teóricos en verdadero y falso, certeza y duda, existe un fundamento sólido para decisiones más generales sobre lo que puede, y lo que probablemente no puede, alcanzar la ciencia.

El logro científico está casi invariablemente ligado a los fines sociales. Es por esta razón por la que no puede completarse ningún análisis del trabajo científico sin la perspectiva de la sociología. Sólo examinando los rasgos específicos del crecimiento de la ciencia en la sociedad, en particular la naturaleza de sus tensas relaciones con las grandes cuestiones éticas y políticas de la actualidad, puede el científico evaluar con objetividad la necesidad y la conveniencia de defender un tipo de ciencia en vez de otro, cuando los fondos son insuficientes para sostener a ambos. Debido a las complejidades del desarrollo del mundo moderno, sólo con una conciencia de las más amplias dimensiones sociales en ciencia y tecnología podrá el científico individual formular una política que optimice el equilibrio entre el hombre y el mundo en donde tiene que vivir

PRIMERA PARTE

MÉTODOS Y FILOSOFÍAS DE LA CIENCIA

1. LA ESTRUCTURA DE LA CIENCIA

UNA VISIÓN CIENTÍFICA DEL MUNDO

El término "ciencia" es en la actualidad tan ampliamente aplicado que cualquier definición corre el riesgo de ofender a aquellos que piensen que se ha excluido el uso particular que le dan. Decir que algo es "científico" significa apoyar la idea de que es al mismo tiempo respetable y que debe tomarse con seriedad. En esta forma tenemos detergentes científicos, camas científicas, humor científico y formas científicas para aprender a tocar el piano. El deseo popular de ser considerado científico es, claro, el resultado del enorme poder y prestigio que la ciencia (cualquiera que sea) tiene en nuestra sociedad. Ahora bien, en su uso más restringido y académico, el término es también altamente prestigioso y esto se debe quizás a que originalmente *scientia* es la palabra del latín que nombra al conocimiento; dentro de este contexto, no ser considerado científico puede obviamente tener serias implicaciones. De cualquier forma, no hay carencia de libros de eruditos sobre "la ciencia de la sociedad", "la ciencia del arte" y "la ciencia de la ciencia".

Lo que tienen en común todos estos usos es que se refieren al conocimiento de un aspecto del "mundo", esto es, la ciencia da por cierta la existencia del mundo exterior. Ésta no es en ningún modo una consideración trivial, especialmente porque ningún filósofo ha sido capaz de demostrar a satisfacción de todos que podemos llegar a aceptar tal creencia únicamente por medio de la argumentación. Apenas examinamos el problema con cuidado, encontramos que se hace necesario una especie de salto intuitivo o instintivo como base de nuestra razón.

Ese salto instintivo que nos permite racionalizar nuestra creencia en el mundo exterior es en alguna forma análogo a la idea o hipótesis que un científico inventa cuando intenta informar sobre fenómenos particulares en el mundo. Su atractivo inmediato es que tiene el efecto de simplificar y organizar nuestras experiencias en tal forma que, sin él, sentimos que no tendrían sentido. Podemos pensar en otros principios de organización plausibles, pero la creencia de que existe realmente un mundo exterior tiene, para la mayoría de la gente, la ventaja crucial de ser la más simple.

El significado total de esto para nuestra comprensión de la ciencia se hará más evidente si consideramos brevemente por qué no es irracional dudar de la existencia del mundo con el que trata la

ciencia, aunque no exista una cosa llamada ciencia si lo hacemos. Y al examinar esos aspectos de nuestra experiencia, que consideramos como los datos primarios de la ciencia, podremos obtener una idea de las ventajas y limitaciones de esta escurridiza disciplina. Para nuestro objetivo es necesario hacerlo únicamente en términos simples.

Entre los procesos que según decimos "se desarrollan dentro de nuestra cabeza", comúnmente, si bien en forma vaga, distinguimos dos tipos. Existen aquellos que a partir de su efecto sobre nuestros órganos sensoriales creemos que se derivan de las cosas o eventos pertenecientes al mundo externo, y existen aquellos otros que pensamos que se originan totalmente dentro de nuestra "mente" y que no tienen nada que ver con el mundo exterior. En bien de la simplicidad los llamaremos percepciones sensoriales, y pensamientos o sentimientos, respectivamente. Aunque en forma convencional consideramos nuestras percepciones sensoriales como algo que nos ofrece evidencia del mundo exterior, en realidad ellas ocurren *dentro* de nuestra mente; en este sentido no difieren de nuestros pensamientos y sentimientos. ¿Por qué entonces consideramos estas dos categorías de experiencia interna en forma diferente? Si ambos tipos ocurren en realidad "dentro de nuestra cabeza", ¿cómo justificar que relacionemos nuestras percepciones sensoriales pero no nuestros pensamientos y sentimientos con un mundo fuera de nuestras mentes?

He aquí por qué la idea de la simplificación es tan útil. Si argumentamos que no hay justificación para distinguir entre las percepciones sensoriales y los pensamientos y sentimientos, podremos concluir que el "mundo externo" es una ilusión. El mundo, para cada individuo, consistirá en él mismo (cualquier cosa que sea), sus pensamientos y sentimientos, y sus percepciones sensoriales, aunque estas últimas no le ofrecerán más que la irreal impresión de sueños. Claro está que no habrá razón para creer en la existencia de otra gente y necesitamos explorar las implicaciones de esta posición solamente hasta ver que puede conducir a enormes complejidades y que sería incompatible con cualquier forma de vida "normal". Es en este sentido como puede considerarse que el "salto instintivo" tiene la importante virtud de la simplicidad.

Una vez que hayamos aceptado instintivamente las ventajas de creer en un mundo exterior, incluyendo a la demás gente, podremos usar el testimonio de los demás como base para separar nuestras percepciones sensoriales de nuestros pensamientos y sentimientos. En tanto que los últimos "se desarrollan dentro de nuestra cabeza", la mayoría de las veces independientemente de otra gente —esto es, son experiencias "subjetivas", accesibles sólo a nosotros mismos mediante la introspección—, las percepciones sensoriales de las que ha-

blamos se muestran muy similares a las que otros señalan. Cuando tenemos la *misma* experiencia que otros, referimos las *mismas*, o casi las mismas, percepciones sensoriales. Así es como racionalizamos nuestra creencia instintiva en un mundo exterior, ya que si todos reportamos percepciones sensoriales muy similares, nos sentimos justificados para asumir que ciertamente *tras* éstas deben existir objetos externos públicamente accesibles. Estas percepciones sensoriales comunes, que a diferencia de nuestros pensamientos y sentimientos privados parecen constituir un conocimiento "objetivo" del mundo que todos podemos confirmar, son los datos primarios de la ciencia.

LEYES CIENTÍFICAS

La ciencia, por lo tanto, estudia aquellos aspectos de nuestro conocimiento del mundo externo sobre los que puede haber un consenso universal, al menos en principio. Representa un intento por alcanzar un consenso máximo. Cuando los científicos difieren en asuntos de ciencia, generalmente no lo hacen sobre temas como la importancia o la fiabilidad de sus percepciones de sentido común —que es típicamente el campo de la filosofía—, sino sobre lo que sus pensamientos o sentimientos privados sugieren que puede ser la mejor interpretación obtenible. Sin embargo, la ciencia pudo no haberse desarrollado en la forma en que lo ha hecho si sólo hubiera tratado de estar de acuerdo sobre objetos y eventos *particulares* del mundo. La razón para el avance de la comprensión científica se hallará en el interés de la ciencia por las relaciones y regularidades mostradas por fenómenos particulares. Estas relaciones y regularidades pueden expresarse formalmente en leyes científicas, y una característica definida de éstas es que describen relaciones y regularidades invariables. Sin embargo, es importante observar que la invariabilidad, dentro de este contexto, no implica certeza. Aunque es indudablemente cierto que una ley ideal expresaría relaciones y regularidades en verdad invariables, en la práctica las leyes científicas son empíricas porque se derivan de datos procedentes de observaciones. Aun cuando estos datos tuvieran concordancia universal bajo la forma de percepciones simples, no tendríamos manera de saber si las relaciones entre ellos son verdaderamente invariables. Al menos no podríamos saber si éste sería el caso en el futuro. Sin embargo, pocos filósofos creen ahora que el propósito de la ciencia es la búsqueda de la verdad absoluta, y probablemente ninguno cree que realmente la encuentra. La ciencia procede más bien *como* si

el mundo existiera y, cual principio de trabajo, *como* si sus leyes fueran invariables.

Existen dos clases principales de leyes científicas. Las más simples y las más antiguas de ellas pueden llamarse leyes de sustancia. En ellas se describen las propiedades invariables de elementos y sistemas que se encuentran en la naturaleza. Son típicas de este tipo las leyes de botánica o geología, por ejemplo, que definen las particularidades de una planta o de una roca. Pero las leyes de sustancia son también fundamentales en física y química, en donde describen tales cuerpos como elementos y componentes. Las bases empíricas de estas leyes quedan bien ilustradas en las propiedades del agua. En un tiempo se pensó que dos propiedades "invariables" eran los puntos de congelamiento y de ebullición del agua, 0 y 100°C respectivamente; al menos fueron definidos así al calcular la escala en centígrados. Pero investigaciones posteriores mostraron que la presión podía ejercer un efecto significativo sobre ellas, así que en una ley precisa, que defina lo que *es* el agua, deberá también considerarse la presión. Nunca podemos estar seguros de que no se han omitido otros factores.

Las otras clases de leyes, especialmente características de las ciencias físicas, pueden ser llamadas leyes de función. En ellas se describen las relaciones invariables que existen entre las propiedades de los elementos y de los sistemas. Tradicionalmente se ha dicho que se ocupan de la relación de causa y efecto. Se trata aquí de una ley que predice que *si* un evento ocurre, *entonces* será seguido invariablemente por otro evento. Los eventos están entonces relacionados en una secuencia temporal. Un ejemplo simple lo sería la ley de Arrhenius que dice (en forma simple) que la velocidad de una reacción química está en *función* de la temperatura, lo que nos permite predecir que si una temperatura se eleva, entonces la velocidad de reacción se acelera. Sin embargo, muchas de las leyes de función no implican tanto la idea de secuencia causal en el tiempo como la de relaciones numéricas específicas. Así la Ley de Ohm dice (nuevamente en forma simple) que en un circuito eléctrico de resistencia constante, la corriente es *proporcional* al voltaje. Ninguno de estos parámetros puede ser establecido como la causa de un cambio en el otro (que en esa circunstancia sería el efecto), lo que no cambia es la relación numérica entre ellos, sin importar cuál es la causa y cuál el efecto. Es esto lo que la ley describe, y a partir de esto es como puede hacerse la predicción.

En las ciencias vitales y sociales, las leyes concernientes a las relaciones numéricas nunca permiten la predicción de resultados con precisión comparable a la Ley de Ohm. Esto no es porque las leyes en sí mismas sean menos invariables que las de los físicos, sino porque se refieren a eventos cuyas causas la ciencia aún no compren-

de. Los eventos son el resultado, digamos, de las "oportunidades". En estas circunstancias, las leyes difícilmente pueden predecir el resultado de eventos individuales (como, por ejemplo, las características hereditarias de un organismo particular), aunque pueden realizar acertadas predicciones sobre las posibilidades estadísticas en una amplia serie de eventos (como los índices de distribución de ciertas características en una población).

TEORÍAS CIENTÍFICAS

Mientras que en lo concerniente a las leyes científicas hay, o puede haber, algo cercano a una concordancia universal entre los individuos, en ninguna forma es éste el caso con las teorías o hipótesis científicas. (Para nuestros fines, una hipótesis es meramente la expresión tentativa de una teoría.) La razón de la diferencia es que las leyes definen relaciones y regularidades invariables acerca del mundo, que pueden ser confirmadas empíricamente por cualquier observador, mientras que las teorías "fundamentan" leyes (típicamente como "explicaciones") y en general no son susceptibles de comprobación directa mediante percepción sensorial. Así las teorías dan lugar a opiniones personales.

Todo el asunto de la situación de las leyes y las teorías consiste en un debate activo sobre la filosofía de la ciencia, pero para los efectos de una introducción, una de las mejores formas de lograr entender algo es examinar cómo se relacionan entre sí. Si las leyes predicen idealmente el surgimiento de nuevos eventos (nuevos en el sentido de no conocidos previamente), las teorías predicen de manera ideal el surgimiento de nuevas leyes. Y una teoría que puede predecir leyes hasta entonces desconocidas, podrá ser capaz también de informar sobre las leyes antiguas; esto es, ambos tipos de leyes —conocidas y desconocidas— pueden ser deducidas como consecuencia de la teoría. Decir que una teoría explica la ley (o el grupo de leyes) es típicamente interpretar lo más complejo en términos de lo más simple o, para decirlo en otra forma, referir lo más particular a lo más general. La Ley de Boyle, que expresa la relación invariable que existe entre la presión y el volumen de un gas, permite que un número infinito de nuevos eventos puedan predecirse como resultado de la variación de una u otra variable. Cuando decimos que esta ley fue "descubierta" por Boyle, parece que implica que siempre lo estuvo esperando *ahí*, en el mundo.

Sin embargo, la ley en sí no nos da ninguna idea sobre cómo es que se sostiene la relación inversa de presión y volumen. La *explicación* moderna de la Ley de Boyle iba a llegar en la teoría cinética

de los gases, la cual observa que la presión ejercida por un gas aumenta al reducirse su volumen, en términos de la cada vez mayor colisión de sus moléculas constitutivas dentro de las paredes del recipiente que lo contiene. Así la teoría nos ofrece un panorama general, o modelo, del gas, que nos ayuda a entender las propiedades definidas en la ley particular. Posteriormente nos permite predecir el efecto del aumento de la temperatura del gas a un volumen constante (un aumento de temperatura, como se afirma en la Ley de Gay-Lussac) en términos de la mayor velocidad de las moléculas. Tendemos a decir que la teoría fue "inventada" (por Maxwell y otros), lo que expresa nuestro sentir de que, en contraste con una ley, una teoría científica es de alguna forma un artefacto humano, algo que quizá no es completamente cierto.

Aunque este último punto da lugar a una cuestión seria e importante, sólo necesitamos detenernos en él brevemente. Hay dos puntos de vista extremos en la posición de las teorías científicas. Uno es que los conceptos empleados en las teorías son típicamente abstracciones, meros instrumentos que sostienen la imaginación y guían las predicciones; como resultado, las teorías son consideradas nada más como reformulaciones resumidas de las leyes. El punto de vista opuesto es que las entidades teóricas se refieren a cosas reales. Según esta posición los átomos, o aun las "partículas elementales", podrían realmente mostrar su existencia como objetos concretos si tan sólo poseyéramos la técnica para hacerlo; a este respecto semejan entidades como las bacterias y los virus en la teoría de los gérmenes de enfermedades, que no podían "verse" cuando fueron postulados en un principio, pero que ahora podemos observar con el microscopio solar o con el electrónico. Para algunos defensores de este punto de vista, existe entonces una considerable convicción basada en las "huellas" de partículas elementales, que son la información primaria de la física de alta energía (véase el capítulo 5).

Para nuestros propósitos actuales es quizá más apropiado considerar las teorías como modelos o símiles de sistemas "reales" del mundo externo. Las teorías por lo tanto reúnen ciertos rasgos de los sistemas reales, aunque no todos, y en algunos casos no sabemos, y probablemente no podremos saber, lo que constituyen tales rasgos. (Claro está que cuando hay una evidente falta de correspondencia entre la teoría y el mundo externo, aquélla debe ser abandonada.) Ésta es una posición de compromiso que se presenta en algún punto entre los dos extremos, en la cual se reconoce a las teorías como construcciones falibles de la mente humana. Si se trata de promover el entendimiento, la analogía usada en la teoría usualmente será obtenida con un sistema cuyas leyes operativas son familiares: con un arreglo mecánico como el de bolas de billar en el caso de la teoría atómica de Dalton, con la selección artificial de característi-

cas en reproductores animales en el caso de la teoría darwiniana de la evolución por selección natural, o con los sistemas matemáticos totalmente abstractos en la física teórica. Aunque no sabemos cuán exacta es la analogía entre la teoría y la realidad, y por lo tanto no debemos pensar en una *como si fuera* la otra, reconocemos que la teoría es incompleta aunque flexible, y que siempre puede ser mejorada con evidencias nuevas. Aceptamos que es parte de la naturaleza del conocimiento científico el ser incompleto, pero al mismo tiempo aseguramos que está en nuestra naturaleza buscar alguna semblanza de inteligibilidad en el mundo. Por lo menos, el valor de las teorías radica en que son nuestra guía en esta búsqueda.

El propósito de este breve capítulo ha sido meramente exponer la idea de que la ciencia consta de diferentes tipos de conocimiento —las percepciones sensoriales concernientes a fenómenos particulares, las relaciones y regularidades mostradas por los fenómenos en general, y los patrones organizativos que sirven de base a estas relaciones estructurales y funcionales. No hemos examinado cómo estos diferentes tipos de conocimiento pueden, o deben, ser ordenados de modo jerárquico, ni tampoco cómo las leyes y teorías han surgido verdaderamente en el curso del desarrollo científico. Éstos son asuntos discutibles a los que hay que aplicar una enorme energía intelectual. Desafortunadamente, cuando son atacados de frente y tratados como problemas centrales en la filosofía de la ciencia, tienden a cobrar mayor importancia de lo que justifica su significado especial. Esto vuelve oscuro y complejo lo que, en esencia, es claro y simple, situación cara a algunos filósofos, pero a la cual tenemos que eludir con pasos cuidadosos. Nuestro método consistirá en tratar estos problemas en forma natural conforme vayan surgiendo. En el curso de los siguientes cuatro capítulos se observará que tales problemas no presentan dificultades especiales cuando son considerados en el contexto de la lógica, la metodología en general, y con el carácter propio del trabajo científico.

2. EL ARGUMENTO CIENTÍFICO: EL PAPEL DE LA LÓGICA

Por lo general se le atribuye a Aristóteles la invención de la lógica. Parece no existir duda de que el enorme interés de los griegos por las matemáticas, particularmente la geometría, creó condiciones ideales para establecer la llamada ciencia de las leyes del pensamiento. La geometría en sí surgió del conocimiento obtenido en el estudio de las medidas exactas y el cálculo de áreas, que había sido anteriormente desarrollado por los egipcios. La contribución de los griegos consistió en transformar las ideas de algún modo estáticas sobre las relaciones entre líneas y ángulos, en un sistema preciso que obtuvo conclusiones irrefutables a partir de un número inicial de definiciones y axiomas. Al establecer las raíces de lo que ahora conocemos como *lógica*, Aristóteles pretendía inventar un sistema que se aplicara al discurso hablado y escrito con la misma precisión rigurosa que había comprobado en la geometría.

La lógica puede definirse más satisfactoriamente como la investigación de los principios del razonamiento correcto. Se preocupa del análisis de argumentos y de la claridad de su expresión, intentando encontrar reglas —y ciertamente lo logra— que puedan justificar nuestra intuición hacia lo válido. Tradicionalmente la lógica se ha enseñado como una rama de la filosofía, aunque su valor no está en ninguna forma restringido a ejercicios académicos, ya que los argumentos pueden surgir en cualquier área de la vida diaria. Los argumentos pueden resolverse sólo con una atención cuidadosa a la naturaleza de las demandas conflictivas que se presentan. Si la lógica puede desempeñar algún papel para resolver argumentos, esas demandas generalmente deben tomar la forma de declaraciones o proposiciones apoyadas en la evidencia. Deben ser consideradas como conclusiones, y el propósito de la lógica no es determinar la calidad de la evidencia (ésta es típicamente un asunto "de hecho") ni tampoco la calidad de la conclusión, sino más bien la calidad de la relación que existe entre una conclusión y su evidencia. Con esto queremos decir que la lógica evalúa los *argumentos*, y puesto que los argumentos son un ingrediente indispensable de la ciencia, los científicos no pueden trabajar sin la lógica. Con razón o sin ella, el alto prestigio que se concede al conocimiento científico es el resultado de la extendida creencia de que se apoya en fundamentos lógicos sólidos.

En este capítulo trataremos de lógica en un nivel elemental, seleccionando ciertos aspectos que pueden servir como modelos sim-

ples para un tema técnico y altamente complejo, y que también pueden tener importancia para la práctica científica.

DEDUCCIÓN

En el sistema de Aristóteles, todos los argumentos eran separados en tres proposiciones esenciales, siendo la primera y la segunda las premisas que suministraban la evidencia, y la tercera la conclusión obtenida de ellas. La forma de argumento resultante es conocida como silogismo, y todavía nos sirve como un modelo elemental de deducción, la forma de razonamiento más rigurosa que se conoce. (Aunque el cálculo proposicional es ahora ampliamente usado como vehículo para argumentos lógicos, los anticuados silogismos mantienen la ventaja crucial de la inteligibilidad universal; no requieren familiaridad con una notación simbólica que, para bien o para mal, muchos de los lectores de este libro encontrarán intimidante, y por lo tanto inútil.) El ejemplo clásico de silogismo es el siguiente:

> Todos los hombres son mortales,
> Sócrates es un hombre,
> entonces, Sócrates es mortal.

Esto puede parecer bastante simple, pero hay muchas formas de silogismo que son menos obvias, y en todas es tarea de la lógica determinar si la evidencia presentada en la(s) premisa(s) realmente conduce a la conclusión.

En la lógica deductiva es esencial hacer la distinción entre los conceptos de verdad y falsedad, por una parte, y de validez e invalidez, por la otra. Los conceptos de verdad y falsedad se aplican únicamente a los componentes de un argumento, la o las premisas, y la conclusión. Los conceptos de validez e invalidez se aplican sólo a la relación entre los componentes, el argumento o la inferencia en sí misma. Así, podemos rechazar la afirmación de que una conclusión es verdadera si sabemos que una de las premisas de las que se deriva es falsa (lo cual generalmente tiene poco que ver con la lógica) o si encontramos algo defectuoso (inválido) en la forma como ambas se relacionan.

El argumento deductivo contiene la idea de evidencia conclusiva o prueba. Como resultado, hay una compulsión en el razonamiento que no deja sitio a validez parcial o invalidez, ya que la premisa contiene, al menos por implicación, toda la información contenida en la conclusión. En esta forma la conclusión *debe* ser verdad si las premisas son ciertas y el argumento válido; *si* todos los hombres son

en realidad mortales, y *si* Sócrates es realmente un hombre, se sigue necesariamente que él también debe ser mortal. A la inversa, si el argumento es válido, es imposible que las premisas sean verdaderas y la conclusión falsa; podríamos entonces concluir que Sócrates es inmortal únicamente si fallamos por completo en entender el significado de las dos premisas.

En el más famoso de todos los silogismos, es claro que los términos "hombre (u hombres)", "Sócrates" y "mortal" no tienen importancia para el argumento. La misma compulsión lógica operaría si estos términos se remplazaran por "mujer (o mujeres)", "Cleopatra" e "ilógica", sin importar cuán ardientemente rechacemos la primera premisa como evidentemente falsa. La validez del argumento quedaría además intacta si remplazamos los términos por letras, digamos A, B y C. Podríamos entonces escribir:

Todas las B son C,
A es B,
entonces A es C.

Los términos realmente esenciales son los que no han cambiado (por ejemplo "todas"), y podemos decir que lo que todos estos argumentos tienen en común es su *forma*. Puesto que los argumentos son válidos, podemos decir que la forma es válida; o inversamente, cualquier argumento con una forma válida es un argumento válido. Por lo tanto sabemos que ningún argumento deductivo que tenga una forma válida puede poseer premisas verdaderas y una conclusión falsa.

Este punto es especialmente importante en la ciencia porque no es raro poder demostrar, en realidad, cuándo las partes constitutivas de un argumento son realmente verdaderas o falsas. Un ejemplo simple de esto sería:

Todas las víboras son reptiles,
todas las serpientes son reptiles,
entonces, todas las serpientes son víboras.

La forma de esto podría escribirse:

Todas las A son C,
todas las B son C,
entonces, todas las B son A.

Ya que sucede que sabemos que las premisas son verdaderas y la conclusión falsa, también sabemos con certeza que el argumento es inválido. Pero en todas las demás combinaciones de valores verda-

deros no podemos estar seguros. Nótese, de paso, que para estar seguros de que el argumento es inválido hemos necesitado simplemente mostrar que las premisas *podrían* ser verdaderas cuando la conclusión es falsa. No es necesario saberlo en realidad, ya que su forma únicamente revela el estatus del argumento (véase *infra Tipos de argumento deductivo*).

Aceptar un argumento como deductivamente válido no quiere decir, claro está, que la conclusión es necesariamente verdadera. Esto sucede sólo si las premisas son también verdaderas. Existen tres posibles combinaciones de valores verdaderos en un argumento válido (una, por ejemplo, con la forma común a las que se dieron en relación con Sócrates y Cleopatra). Sustituyendo los términos zoológicos que ya usamos, tenemos la primera combinación, la de premisas verdaderas y conclusión verdadera, así:

Todas las serpientes son reptiles,
todas las víboras son serpientes,
entonces, todas las víboras son reptiles.

Alternativamente podríamos tener premisas falsas (algunas o todas) y una conclusión verdadera, como en:

Todos los hombres son reptiles,
todas las serpientes son hombres,
entonces, todas las serpientes son reptiles.

O, finalmente, puede haber premisas falsas y una conclusión falsa, como en:

Todos los hombres son inmortales,
todas las serpientes son hombres,
entonces, todas las serpientes son inmortales.

La primera de estas combinaciones genera pocos problemas, pero las otras dos merecen un breve comentario. Se cree comúnmente, por ejemplo, que premisas falsas conducirán lógicamente a conclusiones falsas. Sin embargo, un ejemplo menos extremista que los ofrecidos antes (pero aún en la misma forma) muestra fácilmente que esto es un error fundamental, así:

Todos los murciélagos son aves,
todas las aves son vertebrados voladores,
entonces, todos los murciélagos son vertebrados voladores.

La relación que aparece entre las premisas y la conclusión exige que

esta última no pueda ser falsa *si* las anteriores son verdaderas (a pesar de que son realmente falsas). Claro está que es igualmente importante darnos cuenta de que una conclusión verdadera que está implícita en una premisa falsa no puede probarse como verdadera en un caso como éste; sino simplemente que una conclusión no es automáticamente falsa porque se derive de falsedades.

Un error como el anterior puede resultar de una inadecuada analogía con el principio correcto de que un argumento deductivo válido que produce una conclusión falsa debe apoyarse en premisas falsas. En la vida diaria es muy común escuchar argumentos que obtienen conclusiones lógicas de premisas falsas. Pero esto también es común en la ciencia, en donde nos vemos confrontados frecuentemente con hipótesis contendientes (premisas) que no pueden ambas (o todas) ser verdaderas. En el método científico, una hipótesis falsa muestra su valor cuando proporciona una base de la que podemos deducir, de manera válida, conclusiones que son contrarias al hecho observado. Podemos entonces eliminar la hipótesis porque es imposible que sea verdadera si la conclusión es falsa.

Tipos de argumento deductivo

El concepto de forma es de gran valor para determinar la validez o invalidez de los argumentos deductivos. Una de las mejores formas para descubrir un argumento inválido es la que se conoce como el método del contraejemplo. En ella el argumento que va a ponerse a prueba es comparado con otro que tiene la misma forma, pero en el que las premisas se saben verdaderas y la conclusión falsa. Por ejemplo:

> Todos los ingleses son británicos,
> todos los nacidos en Yorkshire son británicos,
> entonces, todos los nacidos en Yorkshire son ingleses.

Este argumento tiene la forma siguiente:

> Todas las A son C,
> todas las B son C,
> entonces, todas las B son A.

Nótese que ésta es la misma forma de la del argumento inválido que citamos en la p. 26 y que nos presentó poca dificultad. Sin embargo, en el caso presente las palabras sustituidas conducen el argumento hacia una convicción falsa y, claro está, es precisamente por esto por lo que la forma subyacente es de mayor importancia que cual-

quier argumento particular que se use en esa forma. Cualquier confusión sobre este nuevo ejemplo se desvanece rápidamente si sustituimos la palabra "ingleses" por "escoceses". Ahora podemos ver con facilidad que tenemos un argumento en el que las premisas son verdaderas y la conclusión falsa. Así, esto sería el contraejemplo que nos muestra que la forma, y por lo tanto el primer argumento, es inválida.

Otra forma de argumento que encontramos comúnmente en la ciencia es la que se conoce como hipotética o condicional. Ésta es del tipo "si... entonces"; por ejemplo: "si el viento sopla, entonces las banderas ondearán". En una proposición de este tipo, la parte precedida por "si" se denomina antecedente, y la precedida por "entonces", consecuente. Es importante darse cuenta de que su uso no implica duda. Aunque podamos dudar de que "el viento sople", de hecho no tenemos duda de que "*si* el viento sopla, entonces las banderas ondearán".

Una forma válida de argumento condicional conocida en lógica como "*afirmar* el antecedente" se presenta como sigue: cuando afirmamos la proposición hipotética "si el índice de inflación aumenta, entonces los precios en las tiendas se elevarán" y también se afirma su antecedente, "el índice de inflación aumenta", debemos necesariamente inferir la verdad de su consecuente. La forma de este argumento puede ser representada así:

Si A, entonces B.
A,
entonces B.

La importancia de este procedimiento yace en el hecho de que nos permite afirmar de manera indirecta el consecuente de una proposición hipotética, cuando por medios directos sólo podemos afirmar la verdad de la proposición total y de su antecedente.

Una falacia común es la de "afirmar el consecuente". En esta forma, suponiendo que sabemos que "si el índice de inflación aumenta, entonces los precios en las tiendas se elevarán" (si A, entonces B) y también se asegura que "los precios en las tiendas se han elevado" (B). En este caso no podemos necesariamente inferir que el "índice de inflación se ha elevado" (entonces A). La proposición hipotética afirma únicamente que si el antecedente es verdadero, el consecuente también lo es. No afirma que el consecuente es verdadero con la exclusiva condición de que el antecedente sea verdadero. Queda claro que el alza de precios en las tiendas puede ser resultado de algo distinto al alza en el índice de inflación.

Esto nos conduce a un tercer ejemplo muy interesante, que es un

medio válido para refutar una hipótesis sugerida. El método para "negar al consecuente" es como sigue:

Si el índice de inflación aumenta, entonces los precios en las tiendas se elevarán.
Los precios en las tiendas no se elevan.
Entonces, el índice de inflación no ha aumentado.

La forma del argumento es:

Si A, entonces B.
No B,
entonces, no A.

La proposición hipotética dice que no es éste el caso en que el antecedente es verdadero y el consecuente no verdadero.

El argumento final de esta serie es la falacia de "negar el antecedente". Afirmamos que "si el índice de inflación aumenta, entonces los precios en las tiendas se elevarán" (si A, entonces B) y que "el índice de inflación no aumenta" (no A). ¿Podríamos entonces inferir la falsedad del consecuente (no B)? No podríamos, por la razón dada en relación con la falacia previa: no hemos excluido la posibilidad de que los cambios en la inflación y en los precios pueden ocurrir independientemente.

Otra forma de argumento deductivo muy importante es la bien conocida *reductio ad absurdum*. Aquí el principio es que asumimos como falsa una proposición que realmente deseamos probar como verdadera (asumir no A, por A). Mediante un argumento válido podemos entonces deducir una conclusión que es falsa (una que contradice no A), mostrando que la suposición (no A) debe por lo tanto ser también falsa. Si la suposición es falsa, nuestra proposición original (A) debe ser verdadera.

Para usar un ejemplo simple, supongamos que por alguna razón nos sentimos inseguros sobre la verdad de la conclusión en el siguiente silogismo, y sin embargo sabemos que las premisas son verdaderas:

Algunas serpientes no son víboras,
todas las serpientes son reptiles,
entonces, algunos reptiles no son víboras.

Si empezamos por suponer que la conclusión es falsa, su forma contradictoria, "todos los reptiles son víboras", debe ser verdadera. Sobre esta base construimos un nuevo silogismo, así:

Todos los reptiles son víboras,
todas las serpientes son reptiles,
entonces, todas las serpientes son víboras.

Pero la conclusión de este silogismo contradice la premisa inicial (verdadera) del primer silogismo. Puesto que también sabemos que "todas las serpientes son reptiles" es verdad, la premisa inicial del segundo silogismo, "todos los reptiles son víboras", no puede ser verdad. Así, la conclusión del primer silogismo, "algunos reptiles no son víboras", no puede ser falsa; por lo tanto debe ser verdad.

Esto puede parecer un procedimiento elaborado y artificial, sin embargo, en ocasiones puede ser extremadamente efectivo.

INDUCCIÓN

Hasta aquí hemos considerado la forma más rigurosa de la lógica, en la que un argumento válido basado en premisas verdaderas produce necesariamente una conclusión verdadera. Con argumentos inductivos no hay tal compulsión en el razonamiento y tampoco incongruencia lógica para aceptar la verdad de las premisas mientras se niega la de la conclusión (el problema central de la inducción). Un ejemplo simple sería el argumento:

Todos los hombres han probado hasta ahora ser mortales,
entonces, todos los hombres son mortales.

El argumento es sólido, las premisas verdaderas, pero la conclusión no surge *necesariamente*. En argumentos de este tipo hay claramente grados de fuerza y es por esta razón por la que hablamos de argumentos inductivos correctos o acertados, no (en absoluto) de válidos o inválidos. En el caso anterior hay un elevado grado de fuerza o de probabilidad. Sin embargo, si hemos estado examinando, digamos, el uso de la mano derecha, y "todos los hombres examinados hasta ahora" significa que sólo han sido diez, o aun cien, debemos tener mucho menos confianza para generalizar "entonces todos los hombres usan la mano derecha". El grado de probabilidad en un caso así puede aumentarse con nuevas evidencias ("nuevas" en el sentido cuantitativo de "más", o en el sentido cualitativo de "mejores"), y ya que el propósito de todas las argumentaciones es producir conclusiones verdaderas sobre la base de premisas verdaderas, en la inducción típicamente nos esforzamos por alcanzar el grado más alto posible de probabilidad. (Problemas asociados con la inducción son

discutidos más adelante en el capítulo 4, especialmente en la sección *El inductivismo y sus problemas*).

Tipos de argumento inductivo

La cuestión de la acumulación de evidencias nuevas nos lleva al tipo de argumento inductivo más común, el de la enumeración. En él obtenemos una conclusión general (universal) de un número limitado de casos específicos (singulares). Mientras que con los argumentos deductivos sacamos una conclusión ya presente en las premisas, aquí estamos introduciendo un número de casos que, de hecho, no han sido examinados. Esto es, estamos generalizando o expandiendo el contenido de las premisas hacia lo desconocido.

La forma de los dos argumentos dados es la misma, aunque las probabilidades de sus respectivas generalizaciones son, claro está, ampliamente diferentes. Podríamos expresar la misma forma así:

> P por ciento de los ejemplos examinados de A son B,
> entonces, P por ciento de A son B.

En la práctica el valor de P varía: en el primer caso (concerniente a la mortalidad) sería 100 (es decir "todas las A son B"), pero en el segundo caso (concerniente al uso de la mano derecha) sería del orden de 80 (80 por ciento de A son B), y podremos hablar en consecuencia de las dos generalizaciones como universales, y como probabilista o estadística, respectivamente.

Hay incontables ejemplos de inducción por enumeración en la ciencia y en la vida diaria. Un ejemplo típico podría referirse a una afirmación de los supuestos beneficios de un medicamento para casos de dolor artrítico. Hay muchas formas en que puede comprobarse una proposición así. Es claro que no podemos esperar probar el medicamento en todas las personas que sufren de artritis, así que lo mejor que podemos hacer es suministrarlo a un grupo seleccionado de pacientes y ver si reporta una mejora significativa que no pueda atribuirse a la casualidad. Esa prueba puede ser muy elaborada, introduciendo precauciones sofisticadas como el uso de placebos (medicamento falso, digamos azúcar o sal, hecho para no permitir que se distinga del medicamento verdadero) y la técnica de doble pantalla por medio de los cuales ni los doctores ni los pacientes saben lo que están dando o recibiendo. Pero sin importar lo cuidadosamente que la prueba sea planeada y elaborada, todavía nos estamos apoyando en la generalización. Si concluimos que el medicamento tiene efectos benéficos sobre los dolores artríticos, lo estaremos haciendo basándonos únicamente en un ejemplo limitado. Claro está,

cuanto más representativo sea el grupo, mayor será la confianza que podemos tener en la conclusión. De esta manera, la fuerza de la conclusión aumentaría si estuviéramos en posibilidad de comprobar la hipótesis en grupos de pacientes completamente separados, quizás en otro país en donde el clima, la dieta y otros factores del medio ambiente fueran totalmente diferentes.

En la ciencia representamos típicamente el grado de probabilidad de una inferencia inductiva aplicando análisis estadístico. Idealmente, esto nos provee de una dimensión cuantitativa. Así, en nuestra investigación sobre personas diestras, una muestra amplia de observaciones nos permitiría mejorar una generalidad vaga del tipo: "el siguiente individuo examinado será probablemente diestro". Eso nos permitiría predecir que la probabilidad de ser diestro es, digamos, cuatro a uno.

La falacia más común en este tipo de procedimiento es la de generalizar basándose en datos insuficientes. Desafortunadamente, es claro que lo que constituye una muestra insuficientemente amplia es a menudo difícil (o imposible) de determinar, pero con un examen posterior nos inclinaríamos a juzgar que se ha establecido una falacia si descubrimos que la conclusión es errónea. Un caso bien conocido y desastroso de este tipo general fue la tragedia de la talidomida (aparecieron deformidades fetales por el uso de este medicamento sedante durante el embarazo), en el que no sólo se hicieron pocas observaciones, sino también pocas de ellas fueron del tipo correcto. Las observaciones fueron inadecuadas tanto en cantidad como en calidad.

El problema de la calidad de la evidencia provoca un número de asuntos que no son estrictamente del campo de la lógica, ya que tienen más relación con la veracidad de los "hechos" que con el estatus objetivo de la inferencia. Sin embargo están relacionados con problemas lógicos y vale la pena mencionarlos. En casos como el de la talidomida —y en realidad en la gran mayoría de las investigaciones médicas—, derivar conclusiones por analogía es una práctica estándar; en esta forma se hacen experimentos en unas especies y los resultados son extrapolados a otras. Casi cualquier ensayo de un medicamento que ha llegado al estado clínico ha sido precedido por un ensayo de alguna índole en animales de laboratorio. ¿Hasta dónde puede ser confiable una prueba de este tipo? La respuesta a esta pregunta dependerá de cuán acertada sea la analogía. Con la talidomida la analogía era pobre, no tanto por diferencias entre las especies, sino porque los estudios en especies de animales preñados no fueron completos.

Los juicios hasta el punto de una analogía, así como muchos otros juicios, a menudo involucran lo que es conocido como argumento de autoridad. Por ejemplo, si los resultados previamente reporta-

dos por el profesor Brown en un campo dado lo han establecido como un personaje reputado, sus puntos de vista serán citados para apoyar algún nuevo hallazgo. Si su reputación es grande, su autoridad puede extenderse más allá del área de su particular competencia, tanto como ha ocurrido con las opiniones de Linus Pauling en el debate sobre los supuestos beneficios profilácticos de la vitamina C en relación con el catarro común. En este caso la especial autoridad de Pauling está basada aparentemente en el hecho de que ganó el Premio Nobel en dos ocasiones. Los críticos sobre sus puntos de vista respecto a la vitamina C han intentado volverse en su contra usando otro argumento; sostienen que los escritos de Pauling sobre este tema tienen poca importancia, ya que sus premios fueron ganados en campos de investigación científica muy diferentes.

Finalmente debemos considerar argumentos que contienen la idea de causa y efecto. No sólo son corrientes en la ciencia, sino que también comúnmente involucran el principio de generalización. Cuando tomamos una aspirina para un dolor de cabeza y éste pronto desaparece, en forma natural tendemos a inferir que la acción de la aspirina es la causa de nuestra mejoría. Pero claro está que no podemos probar que el dolor de cabeza no cesó por alguna razón no relacionada con la aspirina. Si se nos presiona, podemos argumentar que las propiedades analgésicas de la aspirina son el resultado bien conocido de incontables experimentos y que nuestra experiencia únicamente añade peso a la probabilidad de que el medicamento ha sido la causa de nuestro alivio. Sin embargo, hablando estrictamente, ésta es la falacia llamada *post hoc ergo propter hoc* ("después de esto, entonces a causa de esto"). No es necesariamente cierto que porque B siguió a A había una relación causal entre ellas. Aunque puede ser altamente probable que éste fuera el caso con el dolor de cabeza y la aspirina, estamos mucho menos seguros cuando nos enteramos, por ejemplo, de que las medidas deflacionarias en la economía llevaron a un excedente en la balanza de pagos.

Hay dos falacias causales que son comunes e importantes en la lógica inductiva. La conocida como "falacia de la causa común" es aquella que advierte dos fenómenos e interpreta uno como la causa del otro, mientras que ignora un tercer fenómeno que es el causante de ambos. Por ejemplo, a menudo se postula que la presencia de la violencia en la televisión es responsable de las actitudes y el comportamiento agresivo de algunos individuos. Sin embargo, no podemos descartar fácilmente la posibilidad de que puede haber una condición profundamente enraizada en nuestra sociedad, o en la naturaleza humana, que tiende a motivar ambas actividades. Si esta interpretación fuera correcta, la violencia en la televisión sería únicamente un síntoma de la causa subyacente, no la causa del comportamiento agresivo. Descubrir la causa real de esta situación es

obviamente de importancia decisiva tanto desde el punto de vista lógico como de los hechos.

La segunda falacia es confundir causa y efecto. Supongamos que averiguamos que la productividad de una fábrica es el doble de la de su competidora. Los empleados de la primera son industriosos y llegan a su trabajo conduciendo costosos automóviles particulares. Los de la segunda son perezosos y además usan bicicleta. Si identificamos la posesión de automóviles como parcialmente responsable de la energía y dedicación al trabajo de sus propietarios, podemos esperar que se elimine la diferencia entre las fábricas regalando a todos los empleados de la segunda fábrica automóviles nuevos.

El principio de inducción puede por lo tanto resumirse diciendo que la probabilidad de una generalización es verdadera si se relaciona con la cantidad y la calidad de la evidencia presentada para apoyarla. Pero es vital comprender que ninguna proposición obtenida en esta forma puede nunca ser verificada en forma convincente. En tales condiciones, en último análisis, se encuentra cualquier ley o teoría científica. Porque el sol ha salido cada mañana según la experiencia humana, no se prueba *lógicamente* que saldrá mañana. Como recalcó el filósofo David Hume (1711-1776), es imposible verificar que las leyes de causalidad operarán en el futuro como operaron en el pasado, y por esta razón concluyó que la ciencia no puede justificarse en ningún modo en el estricto sentido racional (véase también la sección sobre *El inductivismo y sus problemas*, en el capítulo 4).

LÓGICA Y SIGNIFICADO

Hasta aquí hemos examinado en una forma elemental unas cuantas de las formas más comunes de argumentos que encuentran los científicos naturales y sociales, y a las que los principios de la lógica pueden aplicarse. En todo esto hemos supuesto que las palabras usadas han sido realmente comprendidas. Los significados de algunas de ellas, como "Sócrates", "hombre" y "mortal", no tenían un significado especial en lo que a la lógica se refiere, ya que los argumentos deductivos pueden expresarse simbólicamente. Sin embargo, dijimos al considerar los variados tipos de planteamientos usados al construir silogismos, que las otras palabras como "algunos", "todos" y "no", tenían un significado esencial. Aun en los argumentos inductivos, a los que les falta esa precisión, es vital que se dé el significado exacto a las palabras, y que éstas sean aplicadas congruentemente. El uso diario del lenguaje ordinario no requiere un alto grado de exactitud, pero en la lógica y en la prosa científica las

ambigüedades y las imprecisiones deben reducirse al mínimo.

El origen del significado de las palabras está en el estado del aprendizaje. Un niño aprende por repetición de experiencias a asociar el sonido de una palabra hablada (el símbolo) con el objeto o la acción a la que ella se refiere. Aunque como adultos podemos también obtener el significado de una palabra definiéndola con otras palabras, finalmente algunas de esas mismas palabras son obligatoriamente usadas de nuevo y así el proceso se vuelve circular. En cualquier caso, palabras y oraciones pueden usarse para muchos otros propósitos que el de referencia estricta a objetos o acciones, como por ejemplo en las alusiones poéticas o en la retórica política. Pero tan pronto como la lógica queda involucrada, no hay lugar para el uso persuasivo o engañoso del lenguaje. La lógica toma el significado ordinario de las palabras como un hecho —efectivamente, en la lógica deductiva, no es necesario suponer ningún significado dado a una palabra, excepto en el caso de aquellas como "algunos", "todos", "no", etc.— y examina las relaciones entre las proposiciones únicamente sobre esta base. Si no olvidamos esto, especialmente cuando intentamos analizar el discurso ordinario que no puede reducirse fácilmente a una forma lógica simple, es posible evitar muchas de las interacciones más triviales, pero consumidoras de tiempo, entre la lógica y el lenguaje.

Por si puede servir de algo, podríamos ilustrar el tipo de afirmación que tiene una fascinación lógica, pero no vale nada en el contexto de la ciencia, por medio de la famosa, aunque algo indulgente, "paradoja del mentiroso". Si alguien dice "estoy mintiendo", no podemos de inmediato decir lo que convertiría en falsa a esta afirmación. Pero a partir de que él dice que está mintiendo, lo que haría a esta declaración verdadera es que él estuviera diciendo realmente la verdad. En ese caso, lo que él dice debe ser verdadero, y ya que dice que está mintiendo, si está diciendo la verdad, entonces en realidad está mintiendo. Así, tampoco podemos decir lo que ocurriría si esta afirmación fuera verdad, ya que eso conduciría a una contradicción.

Si lo que él dice no puede ser verdad, entonces debe estar mintiendo. Pero decir que está mintiendo es afirmar que lo que él dice no es verdad. Así cuando él dice que está mintiendo, esto debe ser falso. Pero si es falso que está mintiendo, entonces debe estar diciendo la verdad. En esta forma, si suponemos que está mintiendo debemos concluir que está diciendo la verdad, ¡lo que es una segunda contradicción!

Todo lo que se puede entender en tal caso es que, en cualquier forma que lo tomemos, la declaración no nos dice nada. Afortunadamente, nunca sirve a los intereses de los científicos consentir en tal juego de palabras y generalmente es posible en la prosa científica

identificar los elementos esenciales de un argumento y separar sus partes componentes como un prerrequisito para el análisis lógico. Sin embargo, es común encontrar que las conclusiones y las premisas ocurren en secuencias que difieren radicalmente de las de convenciones lógicas; ese significado queda oscurecido por el uso inexacto o excesivo de palabras; o bien un argumento queda incompleto debido a la ausencia de alguna premisa que sólo está implícita. Cuando, por ejemplo, aseguramos que una molécula de oxígeno se combina con dos moléculas de hidrógeno *porque* los átomos de las moléculas de oxígeno son bivalentes y los del hidrógeno monovalentes, es importante darnos cuenta no sólo de que nuestra afirmación es realmente la conclusión del argumento, sino también de que la primera o principal premisa, "un átomo simple bivalente se combinará con dos átomos monovalentes", ha sido omitida.

Las ciencias sociales en particular tienen mucho que ganar con un enfoque lógico del análisis del argumento, porque los datos que tienen que considerar son comúnmente más complejos que los de las ciencias naturales (véase el capítulo 5). Un buen ejemplo podría constituirlo la afirmación que fue brevemente mencionada antes, esto es que el comportamiento agresivo de algunos jóvenes es atribuible a la violencia que ven en la televisión. Como ya hemos visto, éste es probablemente un caso difícil de probar ya que podemos, entre otros riesgos, estar en peligro de caer en la falacia de la causa común.

Sin entrar en detalles, veamos si la afirmación es más fácil de refutar. Por ejemplo, ¿nos serviría de algo una lista de jóvenes que mostraron un comportamiento agresivo, pero que no ven televisión, como contraejemplo? Para poder tomar decisiones de este tipo sería importante primero identificar las cuestiones de hecho y las de lógica que están involucradas. Cualquier generalización inductiva que pueda sacarse de ejemplos en que jóvenes agresivos ven o no televisión, atañiría a relaciones "objetivas"; en principio debe esperarse que la acumulación de una mayor evidencia aumente la fuerza de uno u otro caso. Sin embargo, la cuestión sobre qué forma de evidencia confirmaría o desmentiría la afirmación inicial, implica algo más que sólo "hechos" (con todo lo difícil que sea la obtención de éstos). También atañe al *significado* de la afirmación misma. Así, una lista de jóvenes agresivos, digamos sacada de la historia, que no estuvieron influidos por la televisión, sería un contraejemplo de la afirmación de que si un joven se comporta agresivamente, ello debe ser resultado de haber observado violencia en la televisión. Esta lista, podríamos decir, contradice la aseveración de que mirar violencia por televisión es una *condición necesaria* para producir un comportamiento agresivo. Sin embargo, es claro que la lista no sería un contraejemplo válido para la aseveración de que los jóvenes que ven violencia en la televisión actúan agresivamente. La afirmación dice aquí

que la violencia en la televisión es una *condición suficiente* para la producción del comportamiento agresivo, pero esto no excluye la posibilidad de otros factores causales. Un contraejemplo para esta interpretación particular sería entonces una lista de jóvenes que siendo adictos a la violencia en la televisión, sin embargo no actuaron agresivamente.

Claro está que en realidad sería más fácil encontrar contraejemplos para refutar la afirmación original en sus dos significados, y sería importante encontrar cualquier conexión causal entre la violencia en la televisión y el comportamiento agresivo que tenga, por lo menos, algún nivel de probabilidad estadística y no tanto que sea directo y categórico. Sin embargo, este ejemplo muestra en forma elemental cómo el discurso ordinario puede ser comprendido mejor con un análisis cuidadoso. Los argumentos más complicados y prolongados pueden tratarse en la misma forma, no sólo revelando sus debilidades, sino también mostrando cómo pueden ser fortalecidos. En general podemos decir que la lógica nos provee de las herramientas necesarias para desenmarañar los conflictos e incompatibilidades que todos experimentamos en nuestras creencias personales. Al descubrir las inferencias deductivas de proposiciones a las que pensamos apoyar, la lógica puede llevarnos a aceptar puntos de vista que en primera instancia pueden parecernos sorprendentes; e igualmente, al proporcionarnos métodos para valorar la evidencia, la lógica podrá a veces animarnos a rechazar proposiciones que hasta ese momento eran consideradas como premisas evidentes en sí mismas.

Para finalizar, quizá sea necesario añadir en esta sección algunas palabras sobre la relación entre lógica y psicología: la confusión que todavía se descubre ocasionalmente entre las dos ramas de la antigua y ambigua definición de la lógica como la ciencia de las leyes del pensamiento. Mientras que el psicólogo está interesado en la naturaleza de los procesos mentales que ocurren en el acto de pensar, en el sentido de "procesos que ocurren dentro de la cabeza de una persona", al lógico le atañe sólo en la medida en que le proporcionen métodos para probar argumentos o inferencias. A este respecto, la lógica no es diferente de cualquier otra rama de la actividad intelectual, en donde se analizan los problemas sin considerar los mecanismos verdaderos del cerebro que están relacionados con el análisis. El tipo de problemas analizados por la lógica moderna y los procedimientos usados en el análisis son, de hecho, muy similares a los de las matemáticas, y es en este sentido como a menudo se dice que el pensamiento ya no es necesario en lógica. Claro está que esta opinión no pretende implicar que los lógicos y los matemáticos no piensan, sino que se deriva por analogía con las máquinas electrónicas modernas que analizan problemas usando "lógica de

computadora", un sistema binario con sólo dos valores, digamos "sí" o "no". En la deducción los dos valores posibles son validez e invalidez. Considerando que un argumento, con todo lo complejo que pueda parecer, puede descomponerse en una serie de subargumentos, cada uno de los cuales puede tener sólo uno de esos dos valores posibles, el problema puede ser resuelto en principio por una máquina adecuadamente construida y programada. (No hay que decir que la máquina no puede proporcionar otra guía que lo verdadero o lo falso de la información —esto es, las premisas— que contiene.)

En tanto que alguna apreciación de las posibilidades y limitaciones de los procedimientos lógicos ayudaría a reforzar la opinión de que la lógica no tiene relaciones especiales con la psicología, es importante recordar que hay muchos contextos en donde un sistema tan formal y riguroso como la deducción no puede ser aplicado. En tales casos, la aplicación de principios lógicos de tipo más general como los señalados antes, quedan como la única forma de análisis satisfactorio.

3. LA ACTITUD CIENTÍFICA: LA CIENCIA EN LA PRÁCTICA

La palabra "ciencia" se usa en dos formas diferentes. Por una parte se refiere a un cuerpo de conocimiento, y por la otra a un conjunto de reglas por las que puede obtenerse este conocimiento. En ninguno de los dos sentidos el significado de la palabra queda establecido a la perfección, y ciertamente sería un error pretender que fuera en otra forma. Pero sería igualmente equívoco pretender que no hay un consenso de opinión, bastante extendido, sobre lo que la ciencia es en realidad. El propósito de este capítulo es identificar los principios que, en adición a los de la lógica, parecen estar casi universalmente asociados con la conducta de investigación científica. El conjunto de estos principios constituye lo que a menudo se cita como la actitud científica; nosotros intentaremos ilustrar el matiz especial de esto por medio de casos históricos. Sin embargo, es ante todo útil señalar los rasgos esenciales que distinguen el cuerpo de conocimientos que llamamos ciencia, ya que entonces nos encontraremos en mejor posición para resumir y elaborar la fórmula práctica simple que se descubre en los estudios históricos.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CIENCIA

Un diccionario podría dar la siguiente definición de ciencia: "Conocimiento del mundo real comprobado mediante la observación, críticamente examinada y sistemáticamente clasificada bajo principios generales." En términos amplios, aunque algo idealistas, podemos decir que este conocimiento podría proveer una explicación de lo que es valioso en los descubrimientos pasados y podría también hacer alguna predicción de eventos futuros. Aún más, podría impulsar la investigación científica (nuevos descubrimientos) proporcionando conceptos que den sentido de comprensión a las causas de los eventos en el mundo, y que ayuden a comunicar esta comprensión a los demás. El conocimiento científico debe ser universal en el sentido de ser independiente del espacio y del tiempo; deberá ser presentado explícitamente de manera tal que sea inteligible para todos los practicantes de ciencia calificados; y deberá tener relevancia empírica en forma tal que todos puedan evaluar la correspondencia entre sus teorías y sus implicaciones prácticas.

Si las diferentes formas de acumular conocimiento científico son,

no obstante, reconocibles en cierto modo, todas deben compartir características comunes. Hay muchas discusiones sobre cuáles son estas características, sin contar las que deberían ser, pero sin lugar a dudas la más universal, además de la confiabilidad de la lógica, es la *objetividad*. Todos sabemos vagamente lo que se quiere decir con "ser objetivo" y por el momento es suficiente. A su debido tiempo podremos examinar con algún detalle las limitaciones filosóficas de la objetividad (sobre todo en la sección acerca del inductivismo, en el capítulo 4), pero de paso vale la pena señalar que la alta consideración en que se tiene el intento de ser objetivo parece confirmarse por el creciente papel que encuentra ahora fuera de los laboratorios y de los sitios formales de reunión de la comunidad científica. La objetividad se valora cada vez mayormente en aquellas áreas de la vida moderna en donde la evidencia precisa afirmarse como base para algún proceso de toma de decisiones; sólo tenemos que pensar, por ejemplo, en el continuamente expansivo campo de "estudios administrativos", en donde el objetivo es hacer a las empresas comerciales más "eficientes". Este crecimiento de la actitud científica tiene importantes implicaciones, y los problemas de amplia magnitud para la sociedad, que algunos observadores ven como resultado de su intrusión en asuntos humanos, es discutida en el capítulo 7.

La lógica, junto con las matemáticas puras, difiere de las disciplinas normalmente incluidas en el término ciencia, por ser "no-empírica". Esta expresión significa simplemente que las proposiciones lógicas y matemáticas son demostradas independientemente de evidencias empíricas; no hacen referencia a cosas o acontecimientos fuera de la mente humana, y dependen de postulados, no de observaciones. Todas las demás disciplinas consideradas como científicas, cubriendo un amplio espectro desde sociología y economía, pasando por antropología, psicología y biología, hasta las ciencias físicas tales como la física y la química, son "empíricas". Sus proposiciones dependen finalmente de la evidencia de los sentidos.

Uno de los rasgos de observación característicamente objetivos en las ciencias empíricas, es que pone énfasis especial en aquellos aspectos de las cosas y eventos del mundo que pueden ser comprobados por todos los observadores; esto es, intenta obtener el máximo consenso (véase el capítulo 1). Esto explica el interés particular en las propiedades cuantitativas, las propiedades que pueden medirse. Las medidas precisas, especialmente las logradas por medio de instrumentos impersonales, son objeto de amplio consenso, mientras que las propiedades cualitativas (ya sean estéticas o subjetivas) de las cosas contienen juicios personales y comúnmente conducen a la discusión.

Los tipos de observación que se hacen naturalmente dependerán

de la disciplina en cuestión. Las técnicas científicas van desde los estudios de investigación social y la acumulación de reliquias antiguas en antropología, hasta los elaboradamente conseguidos sistemas de medidas experimentales de la física de alta energía. Pero a pesar de las enormes diferencias entre las técnicas de observación de las diferentes ciencias, es posible argumentar que la metodología fundamental es en todas la misma. Por razones de conveniencia a menudo referimos ambas, aquí y en otras partes del libro, a la distinción convencional entre las ciencias "naturales" (es decir la física y las ciencias de la vida) y las ciencias "sociales", en lo que continúa nos referimos a disciplinas de todo el espectro.

Se sugería más arriba que lo que el científico empírico realmente hace en la práctica es proponer ideas avanzadas que puede comprobar (hablando burdamente, como falsas o verdaderas) por medio de sus sentidos. Esta interacción recíproca entre el proceso mental de elaboración de ideas y el proceso físico de comprobarlas es el meollo del método científico. Al científico se le ocurren nuevas ideas en el doble contexto de su formación académica y de su experiencia. La primera le proporciona los principios y la estructura objetiva de su tema, y la segunda le da las expectativas sobre lo que posiblemente sea correcto o incorrecto. Conscientemente, o a menudo inconscientemente, el científico examina las premisas y comprueba los argumentos. Las nuevas hipótesis se comparan en lo que se refiere a sus implicaciones, primero contra el cúmulo de observaciones objetivas pertinentes de las que ya dispone, y después contra un nuevo cuerpo de observaciones recogidas específicamente para este propósito. Idealmente, este procedimiento de coleccionar datos constituirá un tipo particular de observación controlada llamada "experimento", en el que se hace un intento para eliminar tanto como sea posible todos los factores que pudieran oscurecer los datos cruciales que se van a recoger. Así las condiciones de simplificación se establecen para que el sistema que va a observarse pueda ser controlado, manipulado y con ello entendido. Cuando no son posibles los experimentos de esta naturaleza, como es el caso todavía en muchas de las ciencias biológicas y sociales, los científicos harán observaciones extensivas en su mundo "tal como es", midiendo variables importantes y ordenando sus datos mediante algún sistema de clasificación apropiado. Entonces podrán hacerse las comparaciones en circunstancias contrastantes y, en donde las relaciones claras y simples no son inmediatas, podrán establecerse grados de probabilidad gracias al análisis estadístico.

Hay numerosos episodios históricos en los que, intoxicados con la excitación del descubrimiento, los científicos han parecido abandonar todos los estándares de objetividad, pero es importante darse cuenta de que tal comportamiento emocional —aunque puede

comprobarnos que los científicos son, después de todo, humanos—no forma parte de la empresa global que se señala como científica. El comportamiento emocional, y hasta irracional, debe más bien ser considerado como la parte que la ciencia comparte con todas las actividades creativas. Como tal está relacionado, al igual que se relacionan otras actividades semejantes, con el *descubrimiento* de nuevas ideas.

Lo que necesita subrayarse es que la parte científica característica de toda la empresa está, por contraste, relacionada no con el descubrimiento en sí, sino con la *justificación* o la comprobación de las ideas que han sido descubiertas. En la ciencia los nuevos descubrimientos tienen pocas oportunidades de aceptación a menos que sean presentados en forma tal que excluyan el dogma o la mera opinión que no esté apoyada por una evidencia comprobable de manera independiente. Consecuentemente hay menos campo en donde se involucre el "yo", es decir, la personalidad y el prejuicio del practicante individual, como sucede, por ejemplo, en arte o en literatura. Aun las ideas de un "genio" creativo entre los científicos deben someterse al escrutinio público de sus compañeros antes de ser aceptadas dentro del cuerpo del conocimiento científico.

Hay otra consideración que está relacionada, en la que la ciencia también difiere de otras formas del saber, tal como el estudio de la literatura o la filosofía. Mientras que, por ejemplo, aún es posible en filosofía emplear gran parte de la vida analizando los escritos de los griegos (Whitehead sólo bromeaba parcialmente cuando describía la filosofía moderna como nada más que "notas de pie de página para Platón"), es una contradicción hablar de un científico moderno "platónico" o "aristotélico". La razón de esto no tiene relación con la creencia de que la ciencia de algún modo "progresa" en una forma que la separa de otras disciplinas. Por ejemplo, si Platón o Shakespeare volvieran a revisar la filosofía y la literatura a partir de su época, es indudablemente cierto que constatarían que ha habido "progreso". Pero para Galileo, Lavoisier o Darwin, no existiría duda de que la física, la química y la biología han avanzado en un sentido muy obvio, y probablemente verían sus propios trabajos como pasos en la dirección de ese avance. Nadie podría argumentar que la filosofía de Platón o los dramas de Shakespeare han sido "superados"; ciertamente son a menudo citados como "eternos", con lo que se intenta decir que su valor y relevancia actual son tan grandes como siempre lo fueron. Pero en la ciencia un buen número de teorías, incluso del siglo XIX, son consideradas hoy como parcial o totalmente inadecuadas para propósitos explicativos, porque han dejado de "encajar en los hechos". Podríamos decir entonces que la ciencia "sigue su camino", mientras que las otras disciplinas simplemente "se mueven de acá para allá". (No es necesario añadir que

la gradual "puesta al día" de las teorías científicas no disminuye en ninguna forma su importancia para el historiador, ni tampoco para el científico moderno que busca una perspectiva más amplia que la exclusiva de su propia generación.)

LOS CIENTÍFICOS EN ACCIÓN

Ya que hemos introducido el concepto básico de la actitud científica como prueba objetiva de las hipótesis de observación, es tiempo de ilustrar esta fórmula con algunos ejemplos reales tomados de la historia de la ciencia. Los casos de tiempos pasados son más útiles a este respecto que los tomados del siglo XX, ya que las ideas son técnicamente menos difíciles, aun cuando todavía no han sido absorbidas como parte del conocimiento común. Con la ventaja de la comprensión posterior, es todavía más fácil ver la estructura esencial de los procesos conceptual y experimental que quedan involucrados, y los siguientes relatos están por lo tanto presentados en forma totalmente consciente a través de los ojos del siglo XX. Como resultado no pretenden ser historia "buena" en el sentido moderno que busca comprensión empática, y (particularmente en el caso de Harvey) dan poca indicación de las sutiles fuerzas que pueden influir en la posición filosófica global de un científico. Sin embargo, no es ése su propósito. Lo que nos proporcionan las historias de caso es una visión rápida e informal de la naturaleza esencial del método científico, concentrándose en la actitud adoptada por hombres famosos al enfrentar problemas particulares.

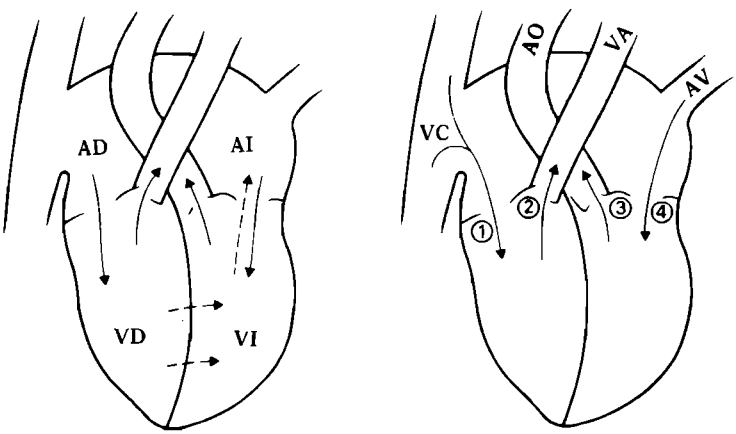
William Harvey y la circulación de la sangre

El primer ejemplo de la aplicación práctica de la actitud científica concierne al trabajo que ha sido considerado por muchos autores modernos como un clásico de la metodología. Tiene un carácter empírico y cuantitativo; ilustra la interacción e interdependencia de teoría y observación, y parece ejemplificar la precedencia de la hipótesis respecto de la comprobación. Más aún, muestra que el científico debe rechazar despiadadamente una vieja teoría —sin importar lo bien demostrada que esté— apenas dejan de apoyarla las nuevas evidencias.

William Harvey (1578-1657) estudió medicina en la Italia de la época de Galileo. Regresó después a Inglaterra, se convirtió en catedrático del Royal College of Physicians, y después en médico personal de Jacobo I y de Carlos I. El rey Carlos le dio acceso a los parques

de ciervos de Windsor para su trabajo experimental y Harvey examinó cerca de cuarenta especies de animales, muchos de ellos de sangre fría, como peces y reptiles, desarrollando de esa manera su interés en la actividad del corazón.

Harvey había heredado la enorme influencia de las doctrinas del médico griego Galeno sobre las funciones del cuerpo, en las que se enseñaba que la sangre de las venas se forma por la acción del hígado sobre el contenido del intestino. Esta sangre es distribuida a todo el sistema venoso por medio de un movimiento de flujo y reflujo. Una parte de ella entra en el lado derecho del corazón en donde sus impurezas se llevan hacia la arteria pulmonar por la exhalación de los pulmones. Se afirmaba que un pequeño volumen de sangre venosa del ventrículo derecho pasaba por los diminutos poros del septo que separa las dos partes del corazón. Una vez en el ventrículo izquierdo, la sangre se encontraba con el espíritu o pneuma que a su vez había entrado en el corazón, proveniente del aire exterior vía tráquea, pulmones y vena pulmonar. La oscura sangre venosa se transformaba entonces en sangre arterial pura, que era distribuida a través del sistema arterial (véase figura 1).



AO aorta
VA "vena arterial" o arteria pulmonar
AI aurícula izquierda
VI ventrículo izquierdo
AD aurícula derecha
VD ventrículo derecho
AV "arteria venosa" o vena pulmonar
VC vena cava

1 válvula tricúspide
2 válvula pulmonar
3 válvula aórtica
4 válvula mitral

FIGURA 1
Diagramas del flujo de sangre en el corazón según Galeno (izquierda) y Harvey (derecha)

Harvey se propuso examinar los "movimientos y usos del corazón", y buscó descubrirlos por medio de inspecciones *in situ*, y no por los escritos de otros. Pronto observó que la contracción del ventrículo izquierdo era seguida inmediatamente por una expansión de las grandes arterias, y razonó que esto se debía a que la sangre pasaba por el primero hacia las segundas. Sus disecciones de corazón revelaron válvulas cuya disposición permitía el paso de la sangre únicamente en una dirección. Por ejemplo, impedían el reflujo de la sangre hacia la aurícula derecha por la contracción del ventrículo derecho. Nuevamente la deducción fue que la sangre debía pasar del ventrículo derecho hacia la arteria pulmonar.

Harvey demostró también la existencia de válvulas en las venas que permiten a la sangre fluir únicamente en la dirección del corazón. El simple "experimento" de cortar una vena era siempre seguido por goteo de sangre hacia el corazón, pero cortar una arteria daba como resultado vigorosas pulsaciones hacia fuera del corazón y la rápida muerte del animal. Harvey razonó entonces que tal muerte se debía a la imposibilidad de que la sangre lanzada por las arterias retornara al corazón por las venas. El experimento confirmó su hipótesis de que "debía existir un movimiento —tal como fue— circular".

Las observaciones de este tipo fueron más que suficientes para dar a Harvey agudeza para formular su famosa hipótesis en 1615. Sin embargo no la publicó hasta 1628 (en su libro *On the motion of the heart and the blood*), época en la cual ya la había confirmado con observaciones posteriores. Quizá la prueba crucial, esa que hace de todo el estudio tan simple y clásico un precursor del método moderno, fue aquella en la que hizo cálculos cuantitativos. Estimando que la cantidad de sangre "expulsada por cada latido" del corazón humano era de al menos media onza, calculó que "en media hora el corazón late cerca de mil veces... [así que] quinientas onzas [han] pasado a las arterias a través del corazón, esto es [...] una cantidad de sangre mayor a la que puede encontrarse en todo el cuerpo". Sus hipótesis por lo tanto explicaron sus propias observaciones y obtuvieron el apoyo de sus cálculos, los cuales, al mismo tiempo, condujeron al rechazo de la autorizada doctrina de Galeno. Esta última fue refutada con la demostración de válvulas en las venas, y difícilmente puede citarse para explicar el enorme trabajo del corazón.

Podemos considerar la demostración de Harvey sobre la inexistencia de poros en el grueso septo intraventricular (los cuales no podía ver y por lo tanto ingenuamente creyó que no podían estar ahí) como un ejemplo simple de la forma lógica válida "negando al consecuente". En esta forma pudo haber razonado: si es cierta la hipótesis de Galeno de que la sangre del corazón izquierdo ha entrado directamente del corazón derecho, entonces realmente debe de ha-

ber poros demostrables en el septo (si A, entonces B). Pero la evidencia, en forma de un exhaustivo examen del septo, revela que no hay tales poros (no B). Por lo tanto la hipótesis no es verdadera (entonces, no A).

Harvey nunca llegó a identificar el eslabón faltante a su círculo, es decir la existencia de los capilares sanguíneos que ligan las arterias más pequeñas a las venas más pequeñas. (La primera observación de los capilares fue hecha por Marcelo Malpighi, poco después de la muerte de Harvey.) Esta omisión crucial hace surgir el importante punto de que considerar su incapacidad para identificar los capilares no fue para Harvey una razón suficiente para rechazar su hipótesis de la circulación, y su imposibilidad para descubrir poros en el septo fue tomada como un elemento crítico que le llevó al rechazo de Galeno. Pudiera ser, después de todo, que el septo fuera examinado con instrumentos inadecuados para mostrar poros que de hecho existen. Esto es, el segundo argumento es verdadero sólo si sus dos premisas son verdaderas. Pero, claro está, en el estricto sentido deductivo la confirmación de la hipótesis de Harvey no se manifiesta simplemente como resultado de que su deducción (derivada de sus observaciones) haya resultado verdadera. Cualquier conclusión de este tipo estaría cometiendo la falacia de afirmar el consecuente (si A, entonces B; B, por lo tanto A). Así, cuando decimos que la evidencia empírica de Harvey confirmó su hipótesis, esto sólo puede ser cierto en el sentido limitado de que la evidencia en los argumentos inductivos puede ser graduada en importancia. Sin embargo, nadie duda de su confiabilidad en la práctica, y toda la fisiología moderna está fundamentada en la idea resultante de que la sangre es el sistema de transporte del cuerpo.

Stephen Hales y el movimiento de la savia

Stephen Hales (1677-1761), quien pasó gran parte de su vida como sacerdote de Teddington —un buen ejemplo de la mezcla clérigo inglés y filósofo naturalista propia del siglo XVIII—, estudió en Cambridge cuando se encontraba profundamente influido por la metodología newtoniana. Esto se ve claramente en su intento por encontrar explicaciones mecánicas para los procesos de los seres vivos. Esta historia de caso ilustra por lo tanto, en forma muy particular, lo significativo de esa influencia, junto con la importancia de nuevos equipos que pueden iniciar un avance técnico y proveer medidas exactas.

La obra clásica de Hales sobre fisiología de las plantas, *Vegetable staticks* (1727) debe también atribuirse parcialmente al impacto de la teoría de Harvey sobre la circulación de la sangre, ya que fue una

actitud análoga a la de Harvey el motivo que lo dispuso para investigar la dinámica del movimiento de la savia. El hecho de que *existía* movimiento era, claro está, de consenso general ya desde la época de Aristóteles, pero Hales fue el primero en abordar el problema mediante experimentación cuantitativa.

Primero quiso saber la cantidad de fluido desplazado y la velocidad a la que se movía. Determinó la cantidad transpirada pesando cuidadosamente una planta de calabaza durante varios días y calculó la cantidad en que aumentaba la savia en el tallo, por medio de medidas en esa área. El área de las hojas era mucho más grande que la de las raíces y por ello estimó que el movimiento de la savia debía ser cerca de once veces más rápido en estas últimas. Estaba profundamente impresionado por la dependencia de las plantas al agua y calculó por ejemplo que, masa contra masa, un girasol necesita 17 veces más que un hombre.

En algún momento Hales debe haber formulado la hipótesis de que son las hojas lo esencial para el movimiento del agua a través de la planta, ya que llevó a cabo experimentos aparentemente destinados a probarlo. Éstos mostraron que la cantidad de agua absorbida por una rama era "más o menos proporcional a la cantidad de hojas que tenía", pero nada le decían del mecanismo mediante el cual éstas ejercían su efecto. Por consiguiente, tomó un largo tubo de vidrio dentro del cual insertó una rama en forma tal que le permitiera medir directamente la velocidad a la que se absorbía el agua. Cuando las hojas de la rama se sumergían en agua, previniendo así la transpiración, era poca la cantidad que se absorbía, pero exponiendo las hojas al aire, aun cuando la rama se sostenía hacia abajo, el movimiento del fluido en el tubo era rápido. Ese movimiento del fluido en el tronco era pues *causado* por la transpiración de las hojas. Pero aunque quedaba claro que el agua estaba disponible a las raíces de la planta en la tierra, Hales tenía todavía que demostrar que el fluido transpirado por las hojas era también agua. Con este propósito encerró ramas con hojas de diferentes plantas dentro de retortas de química y recogió el claro líquido que producían. Probando éste y midiendo su gravedad específica, quedó convencido de que realmente era agua, aunque no pura, ya que "cuando se conservaba en recipientes abiertos, apestaba más pronto que el agua común".

Cuando se convenció de que había suficiente agua en la tierra —proporcionada por la lluvia y el rocío— para abastecer a la planta, Hales quiso saber adónde iba a dar antes de que fuera transpirada a través de las hojas. Su manera de responder a esto ilustra bellamente la importancia de las nuevas técnicas. Ejecutó, de hecho, el primero de un tipo de experimentos que ahora es común en muchas ramas de la biología y que consiste en el uso de un *elemento huella*. Por medio del uso de agua fuertemente perfumada con al-

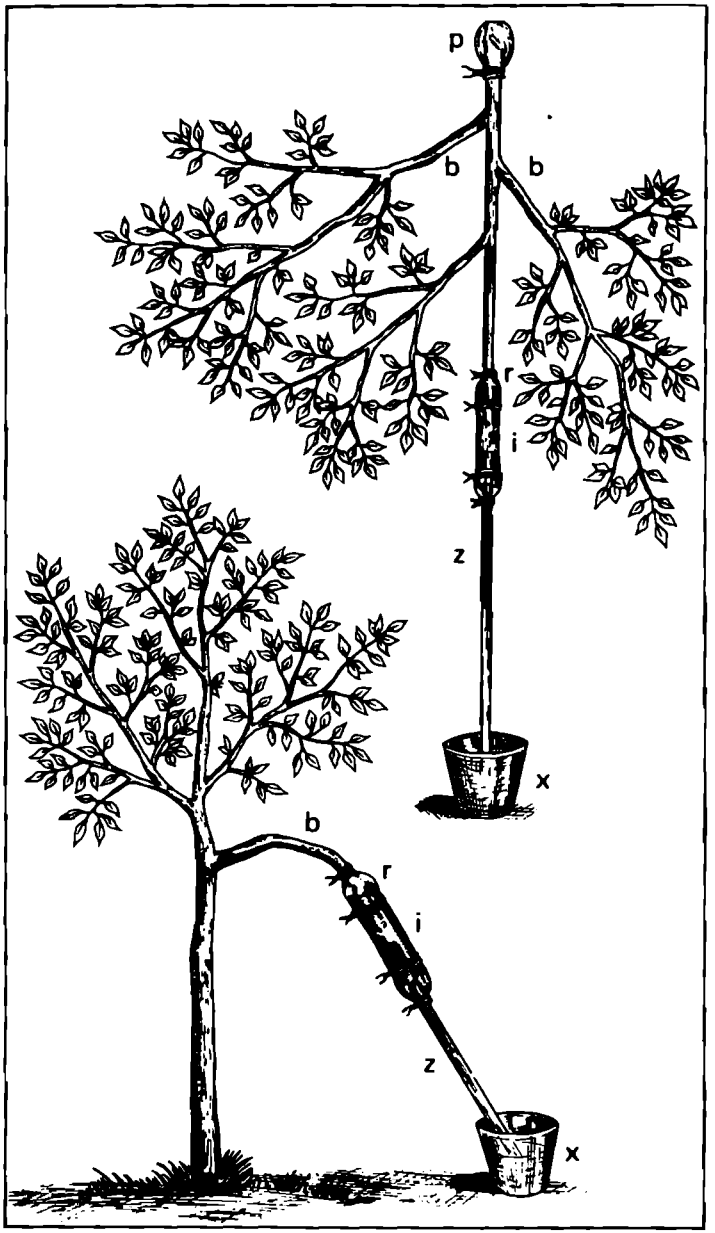


FIGURA 2
El medidor acuomercurial de Hales, usado aquí "para encontrar la fuerza con la que un árbol absorbe humedad"

canfor, sasafrás y otros varios perfumes, estuvo en posición de demostrar, con el testimonio de su propio olfato, que había llegado mucha más agua a unas partes de la planta que a otras. En el caso de una vid, por ejemplo, el agua perfumada "no penetró a las uvas, pero sí muy sensiblemente a los tallos y a las hojas". Con el peral y el manzano demostró también que no afectaba a las frutas.

Por medio de otra ingeniosa técnica, Hales pudo medir la presión desarrollada por la savia en la planta. Diseñó su *medidor acuomercurial* (figura 2) con dos tubos de vidrio pegados con cemento; el mayor lleno de agua y atado al tallo de la planta, y el más pequeño, también lleno de agua, introducido en un recipiente de mercurio. El medidor entonces servía como depósito del que se podía extraer agua y también como aparato para medir la fuerza de succión. (Hales llegó incluso a identificar las limitaciones de su medidor; específicamente notó un error sistemático, y descubrió el método para corregirlo.) Con él, Hales confirmó sus primeros descubrimientos acerca de la importancia de las hojas, porque la altura a la que subía el mercurio en el tubo pequeño era mucho más baja después de que las hojas se desprendían, y también demostró que el poder de absorción de agua era menor en las plantas de hoja acicular (siempre verdes) que en las plantas de hoja ancha (efímeras). Los tallos también mostraron que podían absorber agua del medidor en cualquier dirección a lo largo de su extensión, siempre que tuvieran hojas suficientes, y la presión desarrollada no se vio afectada al quitar la corteza.

Estas últimas observaciones seguramente sorprendieron a Hales, ya que en su época era considerado generalmente (quizás por analogía con el trabajo de Harvey) que en la planta la savia subía por el centro del tallo y volvía hacia abajo por la parte exterior. Esto es, se creía que circulaba. Pero Hales era demasiado buen científico como para respetar la autoridad por sí misma, y cuando sumergió las hojas de una planta en agua pudo demostrar que el movimiento del fluido *hacia* las hojas era muy lento, aunque cantidades importantes de agua eran realmente absorbidas *a través* de las hojas. Aún más, una rama de la que se habían removido tres pulgadas de la corteza y el anillo lígnico del año anterior, todavía podía absorber agua a través del resto de su corteza. Esto demostró que el agua *podía* pasar a través del centro. Pero si había savia regresando entre la corteza y la madera nueva, la parte superior de la incisión debía hallarse húmeda, y por lo contrario estaba blanca y seca. No podía haber entonces circulación de la savia. Tras experimentos posteriores, Hales quedó finalmente convencido del error de la antigua teoría y concluyó que "la savia asciende entre la corteza y la madera, al igual que por otras partes". Este punto de vista era congruente con sus resultados previos y lo llevó a lo que es esencialmente la postu-

ra actual, es decir que el movimiento hacia arriba de la savia a través de toda el área del tallo es el resultado de "la fuerte atracción sobre la savia de los vasos capilares [...] por lo que la savia es llevada a la parte superior del árbol más alto, y ahí es transpirada a través de las hojas".

William Wells y la formación del rocío

William Charles Wells (1757-1817) fue un fidelista estadunidense que llegó a Inglaterra después de la revolución. Publicó su famoso *Essay on dew* en 1814. En relación con los trabajos de Harvey y Hales, el de Wells es una valiosa lección objetiva porque con pequeñas modificaciones del original puede presentarse en la forma de un tratado "ideal" sobre la actitud científica, conteniendo también temas familiares para cualquiera, con conceptos que todos pueden entender.

Lo primero que hizo Wells fue definir claramente el problema. Los casos en los que aparecía humedad en objetos expuestos al aire, pero con obvia ausencia de agua, se distinguieron de casos en donde los depósitos eran el resultado de precipitación natural. Las antiguas ideas sobre la condición necesaria para la aparición del rocío fueron también discutidas. Aristóteles, por ejemplo, había dicho que el rocío era una forma de lluvia invisible que caía únicamente en las noches tranquilas y claras, mientras que Musschenbroek (1692-1761), un filósofo naturalista holandés, afirmaba que los metales, a diferencia de otros materiales que los rodeaban, a menudo se hallaban libres de rocío. De estas relaciones previas y de sus propias observaciones preliminares, Wells elaboró una lista de situaciones que típicamente condujeron a la formación de depósitos de agua similares a los del rocío. Entre éstas identificó la apariencia familiar de la humedad en el interior de las ventanas durante el tiempo frío, en el interior de los muros cuando el clima cálido aparece tras un largo periodo de heladas, y en los espejos cuando se respira sobre ellos. Todos estos ejemplos tenían un rasgo común, esto es que las superficies sobre las que se formaba la humedad eran siempre más frías que el aire en contacto con ellas, y Wells tenía suficiente agudeza como para deducir esta relación simple y expresarla en términos de su hipótesis inicial.

Sin embargo, a diferencia de sus predecesores, Wells no se conformaba únicamente con el enfoque del historiador naturalista, sino que quería probar exhaustivamente sus hipótesis por medio de experimentos. Primero verificó la hipótesis de que la formación de rocío ocurre cuando los objetos fríos se ponen en contacto con aire más caliente, midiendo directamente la temperatura del aire noc-

turno y la de los distintos materiales observados. En cada caso la hipótesis fue apoyada y Wells dedujo adecuadamente (por enumeración) de su número limitado de ejemplos la conclusión general de que la diferencia de temperatura había sido la causante en todos los casos.

Aquí, sin embargo, era posible que hubiese cometido el error de confundir causa y efecto. Mientras que Wells consideraba que la frialdad de los objetos con rocío era la causa del depósito de humedad, igualmente podía argumentarse que la frialdad era más bien el efecto del depósito de la humedad del aire. Esta posibilidad podía excluirse con experimentos posteriores, y Wells optó por pesar con cuidado los objetos antes y después de la formación del rocío, y medir la temperatura varias veces después. De esta manera pronto encontró que algunos objetos podían estar más fríos que el aire y, sin embargo, sin rocío; en estos casos el depósito de humedad no había sido la causa del enfriamiento. Aunque esta observación no probó, claro está, que los depósitos de rocío no causan el enfriamiento (ya que cualquier otra causa podía operar cuando no había rocío), sin embargo fortaleció el argumento de que la frialdad de la superficie es una causa, no un efecto, en el caso de formación de rocío. La ausencia de rocío en algunos casos podría entonces justificarse por la sequedad del aire (una explicación que resulta correcta).

Una de las series de investigaciones más notables de Wells ilustra adecuadamente la conveniencia de establecer condiciones más simples en los experimentos; el científico podría entonces examinar la influencia de las variables una por una hasta aislar su influencia de la de otras variables en la totalidad del sistema. Dejando intactas las demás circunstancias, observó una amplia variedad de materiales diferentes en contacto con la tierra y encontró que los más fríos, en una noche determinada, eran malos conductores de calor (plumas, lana), mientras que los menos fríos eran buenos conductores (metales). Con este descubrimiento fue capaz de perfeccionar su hipótesis y presentarla en una forma más sofisticada y cuantitativa. Se podía decir no sólo que el rocío aparece cuando las superficies frías entran en contacto con el aire más caliente, sino que hay ahí una relación positiva entre el grado de frialdad y la cantidad de humedad depositada. Esta hipótesis fue probada deduciendo consecuencias de ella. Por ejemplo, si un buen conductor (el que cuando entra en contacto con la tierra absorbe calor de ella más rápidamente, permanece relativamente caliente y es por lo tanto menos cubierto por el rocío) es suspendido justo sobre la tierra por medio de hilos delgados, estará más frío que cuando se pone sobre el piso y consecuentemente queda más lleno de rocío. Esta predicción se comprobó como correcta y por lo tanto dio apoyo a las observaciones de Musschenbroek, confirmando que la conductividad térmica de un

material era la causa subyacente de diferencias de temperatura y por lo tanto de la abundancia de humedad depositada.

Experimentos elaborados con muestras de lana, previamente pesadas, mostraron entonces a Wells que el grado de exposición de los objetos al cielo nocturno (otra variable simple) también afecta la formación de rocío. La lana suspendida en el aire sobre un plato de madera infaliblemente ganó mayor peso, como resultado del depósito de rocío, que la lana sostenida en alguna forma bajo el mismo plato. Este efecto general se comprobó manteniéndose constante en una multitud de situaciones diferentes y confirmó la antigua observación de que los árboles frondosos previenen o minimizan la formación de rocío. También sugirió que una cubierta de cualquier tipo actúa en cierta medida como las nubes, reflejando el calor irradiado por la tierra durante la noche, y evita que los objetos sobre o cerca del suelo se enfríen demasiado y por lo tanto absorban mucha humedad. Entonces quedó demostrado que Aristóteles tenía razón en parte, y también en parte estaba equivocado.

La posición lógica de Wells era típica de los problemas planteados para probar las hipótesis de la ciencia, y nos lleva a la idea de hipótesis auxiliares que será discutida más ampliamente en el capítulo 4. Por ejemplo, tomemos la hipótesis de que el depósito de rocío es causado por el contacto de un objeto frío con el aire caliente, y consideremos las implicaciones de prueba de que una pluma puesta en contacto con el suelo se llenaría de rocío, lo cual no sucedería con una pieza de metal. Es claro que esta implicación no puede deducirse únicamente de esta hipótesis; su derivación presupone otras hipótesis concernientes a la concentración de agua en el aire y la conductividad térmica de diferentes materiales. Similarmente, una implicación de prueba concerniente al efecto de las nubes o de otra cubierta respecto a la formación de rocío, presupondrá una premisa más sobre la irradiación de la energía térmica a través del espacio. Así, en sentido estricto, Wells no podía afirmar que si sus hipótesis eran verdaderas las implicaciones de prueba también debían serlo, sino sólo que si sus hipótesis y las hipótesis adicionales, o auxiliares, eran verdaderas, entonces las implicaciones deberían serlo también. Sucede que lo eran (en el sentido que ahora comprendemos), y la explicación general de Wells sobre las causas de la formación de rocío siguen siendo totalmente incontrovertidas hasta el presente.

Émile Durkheim y las causas sociales del suicidio

Como última historia de caso podríamos examinar la obra del sociólogo francés Émile Durkheim (1858-1917), cuyo libro *El suicidio*

(1897) es quizás un buen ejemplo de cómo cualquier método científico puede aplicarse a un complejo problema social, el cual sin embargo no ofrece la más mínima posibilidad de manipulación experimental. Se trata probablemente del primer trabajo en sociología en el que la recolección de información basada en los hechos está claramente guiada por hipótesis, y es el ejemplo perfecto de la aplicación del igualmente famoso clásico de Durkheim, *Las reglas del método sociológico.* Durkheim estaba intentando practicar aquello que predicaba.

La hipótesis inicial era polémica, por no decir otra cosa. Consistía en que el suicidio, quizás la acción personal más íntima que un individuo puede hacer, es un fenómeno que debe, sin embargo, entenderse no en términos de psicología individual, sino más bien en términos de fuerzas sociales que son totalmente externas al individuo. De hecho el suicidio es un ejemplo específico de la tesis más general de Durkheim de que el objeto de la sociología ("los hechos sociales") no puede reducirse al de la psicología.

Reconociendo que la sociología en su totalidad estaba todavía en el punto de recolectar hechos más que de resolver problemas, Durkheim expresó que si el sociólogo iba a resolver problemas, tenía que investigar "grupos de hechos claramente circunscritos, susceptibles de definición inmediata, con límites definidos [...]". Por lo tanto, para sus propósitos el término *suicidio* fue usado para "todos los casos de muerte que resultan directa o indirectamente de un acto positivo o negativo de la víctima misma, la cual sabe que va a producir este resultado". Basándose en esta definición puede parecer casi evidente en sí que el estudio del suicidio *es* asunto de los psicólogos, sin embargo Durkheim insistió en que el suicidio en una sociedad, cuando es tratado como un todo (es decir como *índices* de suicidio), constituye al mismo tiempo algo diferente a la mera suma de los suicidios individuales. En realidad, sus revolucionarias hipótesis habían surgido obviamente de un examen preliminar de los índices de suicidio en diferentes países, ya que en muchos casos demostró que eran más constantes que los índices de muerte globales correspondientes.

Primero, Durkheim empezó por excluir una variedad de causas de suicidio posiblemente extra sociales. Tomemos la locura, por ejemplo. Si todos aquellos que cometen suicidio son *definidos* como enfermos mentales, queda claro entonces que no hay lugar para una encuesta social; pero esto es irracional porque hay una diferencia enorme entre una locura que puede certificarse y la depresión de una persona que, por lo contrario, es normal y equilibrada. Sin embargo, ambas pueden suicidarse. Además, las estadísticas no dan apoyo a esta teoría psicopatológica, ya que en algunos países los judíos presentan un grado mayor de locura que los cristianos, pero un ín-

dice más bajo de suicidio. En forma similar, Durkheim consideró otras causas posibles, como el alcoholismo, factores geográficos y climáticos y la "imitación", sometiendo a todas ellas a un análisis cuidadoso y eliminándolas una tras otra.

Se puso después a examinar lo que consideró como las causas genuinas, o sociales, del suicidio. En este punto reafirmó que consideraba las explicaciones convencionales del suicidio —aquellas en términos de problemas familiares, celos, y así sucesivamente— como algo que no era otra cosa que indicios de causas sociales subyacentes, como las religiosas, políticas o de carácter ocupacional. Con la religión intentó minimizar las posibles influencias culturales examinando estadísticas en las que se comparaban tanto países como comunidades diferentes, encontrando que en todas las situaciones los protestantes estaban significativamente más inclinados al suicidio que los católicos. La razón de esto, dijo, no era una diferencia de doctrina, ya que el suicidio está prohibido tanto para los protestantes como para los católicos, sino una diferencia en la fuerza de cohesión de las respectivas comunidades religiosas. La naturaleza sectaria del protestantismo se traduce en que el individuo tiene demasiada libertad para buscar su propia salvación a su manera, mientras que del católico se espera que acepte una autoridad única y que se amolde a una organización social estrechamente integrada, la cual sin embargo lo protege como individuo. Era entonces en la *sociedad* religiosa en donde debía buscarse la disuasión del suicidio.

Igual ocurría con la familia. El índice de suicidio de personas casadas era universalmente más bajo que el de las solteras, pero la evidencia estadística mostró que la explicación a esto yacía no en las ventajas del matrimonio en sí, sino en la cohesión proporcionada por el grupo familiar, esto es, por el cónyuge *y* los hijos. Fue esto lo que explicó por qué no había relación entre el índice de *matrimonios* y el de suicidios; por qué el último era más alto entre hombres casados sin hijos, que entre los viudos con hijos, y por qué era más bajo entre mujeres solteras que entre las viudas sin hijos.

De sus estudios sobre el efecto de la religión y la familia (y de los grupos políticos), Durkheim derivó su teoría más general: que "el suicidio varía inversamente con el grado de integración de los grupos sociales de los que los individuos forman parte". Aunque hemos abordado su análisis de una manera sólo superficial, la consideramos suficiente para ilustrar la opinión fundamental de que los problemas de la sociedad (o al menos algunos de ellos) son sensibles a un método de investigación que en principio no difiere de aquellos métodos empleados en las ciencias naturales (véase el capítulo 5). Restringiendo el alcance de su investigación y haciendo explícitos los problemas inherentes (especialmente los de definición e interpretación de la evidencia), Durkheim pudo formular una teoría

que podría ser verificada contra la evidencia objetiva, que fue probada así, y que resistió la prueba con todo éxito.

Hay quizás una lección más que podemos extraer del estudio del libro de Durkheim. Se deriva del hecho de que Durkheim lo escribió en una época en que la sociología luchaba para establecerse como una ciencia independiente, y por lo tanto es esencial que lo veamos en la perspectiva de la historia. El problema era que Durkheim, habiendo presentado su teoría junto con una amplia evidencia para sustentarla, se volvió después hacia una ferviente defensa de la idea de la objetividad de los hechos sociales y recurrió a un uso de lenguaje extravagante y algo retórico, que resultó al mismo tiempo contraproducente para la sociología. Planteando cuestiones como la "realidad" de las fuerzas sociales que, para él, eran "cosas *sui generis* y no meras entidades verbales", y hablando de "la fuerza colectiva que impulsa a los hombres a darse muerte", alimentó los prejuicios de aquellos que deseaban denigrar su disciplina como "metafísica" y no-científica. Para los propósitos inmediatos de su tesis sobre el suicidio no había necesidad de plantear esos temas, así como tampoco el biólogo tiene que plantear la pregunta: ¿qué es la vida?, o el físico: ¿qué es la gravedad? en el contexto de una contribución limitada a su tema. Al actuar de esa manera, Durkheim afectó en forma adversa la aceptación de un trabajo que indudablemente era una obra maestra.

4. FILOSOFÍAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO: TEORÍAS DE LA CIENCIA

Durante muchos siglos los filósofos y los científicos han intentado describir cómo la ciencia adquiere, o prescribir cómo debe adquirir, un conocimiento del mundo confiable y comprensible. En el capítulo anterior hemos examinado las principales características de la actitud científica en la práctica, pero no hemos dado más que una atención superficial a la cuestión de cómo se piensa aumentar el gran bloque de ciencia teórica. Esta cuestión ha sido quizá la mayor preocupación de la filosofía de la ciencia y nuestro propósito actual es por lo tanto considerar las respuestas proporcionadas por los grandes pensadores de tiempos antiguos, hasta que lleguemos a los de mayor influencia en el siglo XX. Un poco de perspectiva histórica es de gran importancia para el estudio de la filosofía de la ciencia, porque la actual posición es compleja y ha surgido abarcando la sabiduría del pasado y al mismo tiempo reaccionando en contra de lo que ahora se ve como falso o insatisfactorio.

ARISTÓTELES [384-322 a. C.]

Hemos visto en el capítulo 2 que es a Aristóteles a quien debemos la invención de la lógica, y esto sería más que suficiente para asegurarle la inmortalidad. Pero Aristóteles logró muchas cosas más, incluyendo la formulación de los métodos de investigación deductivo e inductivo sobre los fenómenos naturales. Su método deductivo fue concebido como un procedimiento que funcionaba mediante un argumento riguroso, desde premisas o definiciones evidentes por sí mismas (derivadas *a priori*, o independientemente de la experiencia) hasta las incontrovertibles conclusiones. Fue con este procedimiento con lo que Aristóteles desarrolló su lógica, ya que la labor del filósofo natural era derivar una secuencia de silogismos que nos llevaran *de vuelta*: desde los hechos o conclusiones sobre el mundo hasta lograr las definiciones finales. Estas últimas eran tratadas como descripciones de la verdadera naturaleza del fenómeno, y debían revelarse al hacer las preguntas apropiadas sobre cosas tales como la materia de que están hechos los objetos, las causas de los procesos, su propósito, etcétera.

Desafortunadamente, Aristóteles no dijo *cómo* debían responder-

se esas preguntas. No sugirió el uso de experimentos, quizás en parte porque los griegos tendían a considerar las actividades prácticas con cierto desprecio. De cualquier forma, cuando se hizo evidente que el método de la geometría no podía aplicarse fácilmente a otras áreas del conocimiento —especialmente porque las definiciones básicas que exigían consenso universal no estaban próximas—, Aristóteles se vio obligado a intentar establecer premisas universales "basadas en la evidencia de grupos particulares que no permitían excepciones".

Fue la necesidad de este método inductivo —la observación seguida por la generalización— lo que parece haber convencido a Aristóteles del valor de un enfoque empírico sobre la naturaleza. Indudablemente su contribución más significativa a la metodología científica fue tal enfoque empírico, que podía proporcionar el material básico a partir del cual el "alma" refinaría los universales.

Pero es sintomático en la paradoja de Aristóteles que mientras que mucha de la investigación y de las descripciones que se hacían en el Liceo de Atenas eran meticulosas, revelando hechos de gran valía sobre un enorme campo de la naturaleza, una buena parte de ellas estaba basada dogmáticamente en evidencias circunstanciales. Sin embargo, su autoridad era tan monumental, que la mayoría de sus explicaciones de los fenómenos fueron transmitidas indiscutidamente durante dos mil años, y es por esta razón por la que una minoría de eruditos argumentan todavía hoy que la influencia de este insuperado gigante del intelecto era en realidad un impedimento para el crecimiento del conocimiento científico, o al menos para el tipo de conocimiento que podríamos ahora describir como científico.

EL MÉTODO INDUCTIVO REFORMADO

A pesar de lo que prometía, la falta de claridad y precisión en el meollo del método aristotélico significa que, cuando fue posible, la crítica surgió en forma severa e incesante. Así, se dijo de Aristóteles que "después de haber decretado a su antojo las leyes de la naturaleza, hizo de la experiencia la esclava violentada de su sistema". Esto podría parecerse burdamente al equivalente del dicho moderno: "Mi mente ha tomado su decisión, no me confundan con hechos", o al menos algo como esto: "Dadme *cualquier* hecho y yo lo adaptaré a mi sistema."

Francis Bacon (1561-1626)

La cita anterior pertenece a Francis Bacon, el primer gran filósofo de la ciencia en la época moderna. Bacon vivió en una época en que apenas empezaba a declinar la adoración por los filósofos antiguos. Pero su defensa de la "práctica" así como de la "especulación" era todavía una filosofía radical, y la idea de que los griegos no siempre habían tenido razón, de que el en ese entonces actual estado del conocimiento y las condiciones de vida podrían ser mejorados, todavía era osada. Sin embargo, Bacon era tanto un hombre de mundo como un erudito, y con astuta diplomacia manejó la publicación de su gran obra *Novum Organum* (1620), dedicándola con mucha elocuencia a Jacobo I. Su *Nuevo órgano* era un resumen fino y elaborado del método de inducción tal como debía aplicarse en la ciencia.

El meollo del método de Bacon era, como el de Aristóteles, la recopilación exhaustiva de información sobre el mundo, seguida de una generalización. Su propósito final era descubrir las leyes fundamentales, o *formas*, de la naturaleza para beneficio del hombre, y su más importante adelanto sobre Aristóteles fue su creencia en el uso de experimentos diseñados para facilitar el descubrimiento de los hechos. Más aún, dio gran importancia a la exactitud de la información recogida, diciendo que cuando había lugar para la duda, ésta debía anotarse junto con la información.

Pero, nuevamente como Aristóteles, Bacon no pudo ofrecer ejemplos prácticos convincentes de su método. Si bien no existe duda de que las observaciones y los experimentos son ingredientes indispensables del método científico, su intento de derivar conclusiones generales, por medio de la inducción y partiendo de la acumulación de datos, estaba cargado de dificultades del tipo más fundamental. Por ejemplo, en un extenso caso descrito por el mismo Bacon, intentó dilucidar la forma del calor. Primero reunió una *tabla de hechos positivos*, esto es una lista de casos en los que el calor estaba presente (el sol, el fuego, los animales, etc.). A ella seguía una *tabla de hechos negativos*, que consideraba las categorías generales de la primera lista, pero en las que estaba ausente el calor (cuerpos celestes como la luna, y animales como los insectos). Finalmente una *tabla de grados* en la que se enlistaban diferencias cuantitativas, como varios tipos de llama, o animales con fiebre o ejercitándose. Después describió el procedimiento a seguir cuando estos datos se presentaron ante el intelecto:

El primer trabajo de inducción verdadera, en lo que concierne al descubrimiento de las formas, consiste en la *separación* y *exclusión* de cada una de las propiedades que no se encuentran en todas las experiencias en que se presenta la propiedad dada [esto es, el calor], o que aparecen

en algunos experimentos en que la propiedad dada no se encuentra, o que se ve aumentar en ciertos experimentos cuando decrece la propiedad dada, o decrecer cuando aquélla aumenta. Sólo entonces, y en segundo lugar, después de haber procedido a la *separación* y a la exclusión, según las reglas, quedará en el fondo, por decirlo así, la forma cierta, sólida, verdadera y bien determinada [...]

Habiendo entonces "rechazado y excluido", Bacon llegó finalmente a la conclusión de que el "calor es un movimiento", con lo que debemos entender que la *causa* del calor es el movimiento de las partículas más pequeñas de los cuerpos. Esta concepción, aunque vaga, es superficialmente plausible y sorprendentemente "moderna". Sin embargo, irónicamente tal inducción parece haber sido resultado de datos insuficientes, quizás el más común de todos los problemas en la lógica inductiva (capítulo 2), ya que la idea del movimiento de las partículas de un cuerpo en calentamiento aparentemente partió del rechazo de la idea del movimiento del cuerpo como un todo. Aunque ciertamente Bacon poseía técnicas experimentales para demostrar que todos los cuerpos cambian (es decir se expanden) en su totalidad cuando se calientan, evidentemente no se dio cuenta de ello, así que en este caso parece haber llegado a la conclusión verdadera por la razón equivocada —difícilmente podría ser esto una recomendación para su método.

Para ser justos, debe decirse que Bacon estaba ciertamente consciente en términos generales de los problemas causados por la información insuficiente, y fue este conocimiento el que lo llevó a recoger cada vez más evidencia antes de atreverse a proceder al punto de generalización de su método. Claro está que esto constituía una situación insatisfactoria para un hombre tan dedicado al *avance del conocimiento*, y quizás esta precaución le impidió descubrir una función para la hipótesis o suposición planteada (con su concomitante riesgo de error). De cualquier manera fue éste el defecto crítico de su método, y es un notable tributo a su ciertamente audaz y progresista punto de vista el hecho de que haya tenido tanta influencia en la filosofía de la ciencia de las generaciones posteriores.

A pesar de su insatisfacción con los filósofos antiguos, el método inductivo de Bacon, como el de Aristóteles, estuvo sin embargo profundamente influido por la idea de la certeza del conocimiento que había derivado de la geometría griega. Más de dos siglos después de Bacon, los lógicos y los filósofos estaban todavía bajo su embrujo seductor, y nadie más ni con mayor influencia que J.S. Mill.

John Stuart Mill (1806-1873)

El concepto que tenía Stuart Mill del método científico estaba basado en su creencia de que el propósito de la ciencia era revelar causas. Buscando las causas, argumentaba, podremos encontrar leyes generales. En el capítulo 2 examinamos brevemente algunos de los problemas asociados con la idea de causalidad en la lógica inductiva y sabemos que es una idea que hace surgir una buena cantidad de dificultades. Sin embargo es arraigada costumbre nuestra pensar en términos de causa y efecto y, por aproximación, entendemos la relación que existe entre ellos. Esto es, ante cierto efecto dado, reconocemos que si se observa un cambio en algún fenómeno y se asocia invariablemente con (o es seguido por) un cambio como efecto o consecuencia, ese fenómeno es probablemente la causa del efecto.

Los procedimientos para explicar las causas han sido propuestos por muchos filósofos, y la esencia del inductivismo clásico está contenida en los famosos cánones (o métodos) de inducción de Stuart Mill, en los que la influencia de Bacon es obvia. Los dos cánones más importantes se expresan como sigue:

1 *El canon de concordancia*: si dos o más ejemplos del fenómeno a investigar tienen únicamente una circunstancia en común, tal circunstancia (en la que todos los ejemplos coinciden) será la causa (o efecto) del fenómeno dado.

2 *El canon de diferencia*: si tenemos dos ejemplos y en uno de ellos ocurre el fenómeno a investigar, mientras que en el otro no se presenta tal fenómeno, si ambos tienen en común todas las circunstancias excepto una, y ésta ocurre solamente en el primero, entonces la circunstancia en la que únicamente las dos partes difieren será el efecto, o la causa, o una parte indispensable de la causa del fenómeno.

Los cánones de Mill son, a su manera, reglas de razonamiento impresionantes, pero para ser de valor para la ciencia deben hacer avanzar al conocimiento. En un nivel muy elemental no es difícil darse cuenta de cómo *pueden* funcionar. Por ejemplo, el canon de concordancia parecería revelar la causa de la formación de rocío en los tempranos experimentos de William Wells (véase *supra*); la circunstancia común entre los varios ejemplos de acumulación de humedad era que la superficie húmeda era más fría que el aire. Sin embargo, desafortunadamente el verdadero razonamiento científico consiste en muchísimo más que el que ciertos fenómenos ocurran juntos o en secuencia; realmente una observación tan simple nunca podrá ser una razón suficiente para establecer ninguna relación causal. Para confiar en ello, sería necesario tener *primeramente* conocimiento teórico sustancial concerniente a los fenómenos, de otra

manera, aunque podríamos ser capaces de obtener algunas leyes simples, avanzaríamos poco en cuanto a su explicación. Este problema de la prioridad de la teoría sobre la observación nos lleva a examinar las limitaciones del método inductivo en general.

El inductivismo y sus problemas

Hasta ahora nuestro concepto del método científico ha estado basado inicialmente en la observación objetiva y sin prejuicios. De sus observaciones de eventos particulares, el científico deriva afirmaciones personales tales como "la hierba llena de rocío estaba más fría que el aire", o "la válvula mitral se cerró cuando los ventrículos se contrajeron". Sin embargo, la ciencia consiste en conocimiento sobre el mundo *en general*, no únicamente sobre acontecimientos aislados (capítulo 1), y esto, de acuerdo con el inductivista, es producido por una generalización que parte de un número finito de afirmaciones personales hasta llegar a afirmaciones universales o leyes. Estas leyes tendrían una forma tal como: "la superficie fría recoge humedad del aire húmedo" o "las válvulas del corazón mantienen la sangre circulando en una dirección".

Vimos en el capítulo 2 que la confiabilidad de las leyes generales obtenidas por inducción dependería tanto de la cantidad como de la calidad de afirmaciones personales de evidencia. Por esta razón el inductivista insiste en que se hagan muchas observaciones y que éstas deben hacerse dentro de una amplia variedad de condiciones. Así, en los experimentos de Wells, numerosas superficies diferentes tuvieron que ser examinadas en numerosas ocasiones, y en los de Harvey se observaron los corazones de muchas especies diferentes. Aún más, debe reconocerse que una sola observación bien confirmada que chocara con la ley universal (una superficie húmeda que es más caliente que el aire, o un corazón que bombea sangre en dos direcciones a la vez) sería suficiente para invalidar la generalización. Pero una vez satisfechas estas condiciones, dice el inductivista, el crecimiento constante de un cuerpo confiable de información científica está asegurado.

La importancia del inductivismo en el método científico no se detiene en el establecimiento de leyes universales; estas leyes deben ser usadas como base para el siguiente paso, ya que la ciencia pretende explicar la forma como el mundo funciona y desea predecir eventos futuros. Es en relación con esto como el inductivista se alegra de reconocer el papel de la *deducción* en su método, ya que tendrá deseos de deducir predicciones y explicaciones de sus leyes universales y éstas podrían derivarse por medio de los viejos razonamientos silogísticos. Por ejemplo, tras de hacer innumerables

observaciones sobre varios gases bajo una amplia variedad de condiciones de presión y de volumen, se obtendría una ley universal como: (a temperatura constante) "el volumen de un gas es inversamente proporcional a su presión". Esto servirá como la primera premisa del silogismo, las otras serían:

> El aire es un gas,
> entonces, si la presión del aire se duplica, el volumen se dividirá por dos.

La verdad de las dos primeras premisas se confirma por la experiencia; si *son* verdaderas, la conclusión (predicción) debe ser cierta. Pero la verdad de la conclusión deducida se basa enteramente en la suposición de que los procedimientos que condujeron a las dos primeras premisas, observación e inducción, respectivamente, pueden realmente ser justificados.

Esa justificación es, en sentido estricto, difícil de conseguir. Tanto es así que los filósofos más modernos piensan que el inductivismo es fatalmente defectuoso como metodología a este respecto. Podemos considerar brevemente los tres argumentos más importantes. El primero es que no se confirma con un examen concluyente la declaración inductivista de que la observación puede ser una base segura para el conocimiento científico. Esta idea afirma, con respecto a la visión (y argumentos similares se aplican a los otros sentidos), que el ojo humano actúa como una cámara, y que el observador "ve" cualquier cosa que se proyecta en la retina. Desafortunadamente, éste es un modelo demasiado simple, ya que todos conocemos esos cuadros "trucados" en donde la "mente" decide ver ya sea un florero o dos perfiles humanos, un conejo o un pájaro, una mujer anciana o una joven (véase figura 3, p. 80). El caso es que lo que uno "ve" (u oye, siente, huele, etc.) depende sólo en parte de la experiencia sensorial inmediata, ya que también depende de la experiencia acumulada y de la expectativa. Por lo tanto, la observación no será "objetiva" en el sentido de que varios observadores que ven el mismo objeto necesariamente tienen la misma experiencia.

El segundo argumento contra el caso del inductivismo quizá sea nada más que una extensión del primero. Consiste en que varios observadores que ven un objeto formularán *aseveraciones* personales (observacionales) diferentes sobre su propia experiencia. Aun si admitimos que sus experiencias perceptuales individuales puedan concebiblemente ser directas e independientes de experiencias pasadas, sus aseveraciones públicas no pueden expresarse sin referencia a la comprensión teórica previa. Aun las aseveraciones singulares simples dadas antes presuponen algo de teoría elemental. Por ejemplo, las palabras "más frío" implican un conocimiento de que los cuer-

pos pueden estar a temperaturas diferentes, y la frase "el ventrículo contraído" de inmediato supone el conocimiento del corazón como un órgano que impulsa la sangre. La importancia de esto radica en que muestra no sólo que las observaciones son *precedidas* por teorías (esto es, no *conducen* a teorías, como asegura el inductivismo), sino también que la confiabilidad de las observaciones será inevitablemente determinada por la confiabilidad de las teorías de las cuales dependen. Para verificar la aseveración singular de una observación nos vemos forzados a apelar a nuestro conocimiento teórico, en vez de a aseveraciones más básicas de observación. Pero nuestras teorías son falibles, y nuestras aseveraciones de observación no pueden por lo tanto ser una base infalible para el conocimiento científico.

El tercer argumento en contra del inductivismo es el problema lógico de la inducción misma, que ya habíamos encontrado en el capítulo 2. Si aceptamos los dos primeros argumentos, éste podría parecer irrelevante, ya que aun si la generalización inductiva puede probarse como sólida, sus conclusiones no serían más confiables que sus datos de observación iniciales. Pero el problema de la inducción no ha sido resuelto. No hay regla que nos pueda decir cuándo (si llega a suceder) hemos acopiado aseveraciones de observación suficientes para justificar la generalización, y no podemos saber qué clase o variedades de observaciones hacer sin un previo conocimiento teórico de los problemas, así como tampoco podemos saber cuándo una observación simple que parece chocar con una ley universal realmente *vale* como tal sin un trasfondo teórico. Por ejemplo, ¿un corazón con válvulas defectuosas podría refutar la ley de que las válvulas aseguran la corriente unidireccional de la sangre?

La imposibilidad de justificar la generalización inductiva sería contraatacada por el tipo de inductivismo más sofisticado, en la forma de alguna especie de teoría de probabilidad. Aun si no tenemos una base absolutamente segura para el conocimiento científico —se argumentaría—, al menos podemos estar seguros de que una generalización cautelosa nos daría a entender que *probablemente* es verdad. Esto es lo más que podemos esperar, y se lograra por inducción.

Es probable que este punto de vista atraiga más partidarios que la más extrema e ingenua pretensión de una ciencia totalmente objetiva. Sin embargo, según muchos filósofos, tampoco esta forma más apacible de inductivismo se sostiene. Esto es porque cualquier generalización universal hace (por definición) predicciones sobre un número *infinito* de posibles situaciones futuras, aunque ha sido derivada de un número *finito* de aseveraciones de observación. La probabilidad de que la generalización sea verdadera se encuentra dividiendo el número finito por infinito, y por lo tanto es siempre cero.

No obstante este punto de vista teórico, la débil posición inducti-

vista tiene un atractivo intuitivo poderoso; parece "obvio" que debe haber algo válido en ella. Quizá sólo se trata de que pensar inductivamente es una costumbre en nosotros. *Realmente* parece más probable que una persona que habitualmente bebe mucho antes de conducir sufra un accidente que alguien que siempre está sobrio; y parte de la razón de esto es que tenemos una gran cantidad de conocimiento sobre los *mecanismos* por los que el alcohol aumenta la sensación de confianza, al mismo tiempo que hace más lentos los actos reflejos del cuerpo. Por esa misma razón esperamos que el sol se ponga esta tarde, no sólo porque lo ha hecho siempre así en el pasado, sino porque confiamos en las leyes astronómicas. Aunque sabemos que en la realidad todo conocimiento obtenido inductivamente se basa en la incertidumbre, muchos coincidirán con Hume en que nuestra condición psicológica nos impulsa a comportarnos como si la inducción fuera un procedimiento lógicamente válido.

EL MÉTODO HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO

Sea cual fuere nuestra actitud ante el inductivismo, parece no existir duda de que el prodigioso impulso al crecimiento del conocimiento que se ha presentado en los últimos años es el resultado no sólo de la acumulación exhaustiva de material nuevo basado en hechos y en generalizaciones sobre los hechos, sino más bien de un enfoque radicalmente nuevo. Éste es ampliamente identificado como el *método de hipótesis*, porque su recopilación y análisis de información son guiados por una idea preconcebida.

William Whewell (1794-1866)

El movimiento empezó algo tentativamente en el siglo XIX bajo la dirección del versátil *Cambridge Divine*, William Whewell, un contemporáneo y a la vez adversario de J.S. Mill. En su obra monumental, *The History and philosophy of the inductive sciences*, Whewell examinó con gran detalle el papel que desempeñaban la observación y la experimentación y, más significativamente, las ideas de "suposiciones acertadas", en el avance del conocimiento científico. Reconociendo con generosidad que en la época de Bacon sólo era posible teorizar sobre cómo debía proceder la ciencia, hizo notar que los pensadores del siglo XIX gozaron de la enorme ventaja de poder observar cómo procedió de hecho. No hay, dijo, métodos de inducción universalmente aplicables. La recopilación de datos de Bacon podía llegar a ser una teoría sólida únicamente "por medio de un con-

cepto verdadero y apropiado", con lo que quería decir que una hipótesis debe ser inventada en un primer momento para dar cuenta de los hechos observados. Esto fue un adelanto de profunda importancia sobre la comprensión. No es sorprendente que Whewell no haya podido explicar por qué medios habían surgido las hipótesis, pero sus propias palabras son de considerable interés, ya que nos revelan su apreciación clara de la elusiva facultad de crear:

> Los conceptos por los que los hechos se reúnen son sugeridos por la sagacidad de los descubrimientos. Esta sagacidad no puede enseñarse. Comúnmente logra éxito sólo mediante la suposición; y este éxito parece consistir en encuadrar varias hipótesis tentativas y seleccionar la correcta. Pero un grupo de hipótesis apropiadas no puede construirse por mandato, ni sin talento inventivo.

Las ideas de Whewell sobre la metodología científica marcaron una divergencia fundamental con las de sus predecesores, especialmente en su rechazo del punto de vista de que la *verdad* sólo podía revelarse por medio de la búsqueda sistemática de las leyes de la naturaleza, y sustituyéndola por la idea kantiana de que puede hallarse en la mente del investigador. Esta verdad toma la forma de descripciones o explicaciones que son inventadas por la mente para dar cuenta de los fenómenos observados.

Karl Popper y el método de la falsabilidad

El defensor de más influencia de este concepto de metodología científica ha sido Karl Popper. Sus puntos de vista fueron primero publicados en 1934 en *Logic of scientific discovery*, pero el título de su libro más reciente *Conjectures and refutations* (1963) resume lo más esencial de su *método de falsabilidad*. Las hipótesis deben desarrollarse y es preciso hacer intentos para falsarlas por medio de la investigación científica. En palabras de Popper: "[...] no hay procedimiento más racional que el método de ensayo y error: de conjeturar y refutar; de proponer teorías intrépidamente; de hacer lo que podamos para demostrar que éstas son erróneas, y de aceptarlas tentativamente si nuestros esfuerzos críticos son inútiles".

Popper creció en Viena, y maduró intelectualmente durante la época en que el llamado Círculo de Viena, compuesto por filósofos, propagaba la doctrina conocida como positivismo lógico. Sin embargo, Popper tuvo muy poco contacto directo con este grupo, aunque sus opiniones de la situación del conocimiento científico, y en particular del criterio por el que éste iba a distinguirse de los disparates, tuvo influencia significativa. El famoso principio de verificabilidad

del Círculo proclamaba que las únicas proposiciones con sentido eran o bien las de la lógica y las de las matemáticas (las cuales, en caso de ser verdaderas, eran tautologías) o bien las de la ciencia empírica. El significado de las proposiciones científicas podía —se decía— ser verificado por la observación y el principio se usó para atacar la teología y la metafísica, no únicamente como no-científicas, sino también como insensatas, ya que sin duda sus proposiciones no podían ser verificadas. Desafortunadamente para los positivistas lógicos el principio de verificabilidad se mostró impracticable como criterio de demarcación, ya que excluía todas las proposiciones generales de la ciencia que no podían ser verificadas a causa del problema de inducción, y en muchos otros aspectos mostró provocar más problemas de los que resolvía.

En todo caso, la visión básica y más fértil de Popper en este punto fue que aunque las hipótesis científicas exactas *no* podían ser verificadas, sin embargo, podían demostrarse como falsas. (En este sentido diferían de las proposiciones metafísicas; véase *infra*.) Debido a que este punto de vista ha tenido mucha influencia, y porque para muchos representa *el* método científico moderno, debemos examinar sus fundamentos lógicos.

En el método hipotético-deductivo es necesario que tomemos como punto de partida la definición de hipótesis: "cualquier aseveración que se usa como premisa, cuyas implicaciones lógicas puedan ser probadas comparándolas con hechos confirmados mediante la observación". Aunque en la terminología moderna el método es descrito como hipotético-deductivo, es importante que aun este procedimiento para comprobar las hipótesis científicas sea considerado, en el más amplio sentido, como inductivo. Con esto queremos decir que cuando una hipótesis es probada y aceptada (esto es, no falsada), la evidencia para la aceptación no es deductivamente conclusiva en la forma de un argumento matemático (tautológico), como el siguiente:

$$x^2 - y^2 = (x + y)(x - y)$$

Más bien, la evidencia simplemente permite una confirmación inductiva más o menos fuerte. El estatus del conocimiento científico es pues más bajo, en el sentido lógico, que el conocimiento deductivo. Cualquier "ingenuo" defensor del método de falsabilidad acepta que nunca estamos en posibilidad de decir que una teoría científica es absolutamente verdadera, sin embargo, podemos afirmar de algunas teorías bien probadas, que tienen una fuerte sustentación. Para propósitos prácticos, esto se ha confirmado en muchas teorías para sus aplicaciones diarias.

El principal valor del uso del término "hipotético-deductivo" es

que aclara la importante distinción entre los actos diferentes de descubrimiento y justificación. El primero de estos procedimientos es semejante a la "sagacidad que no puede enseñarse" de Whewell, y se caracteriza por palabras tales como inspiración, imaginación o intuición. Por otra parte, el proceso de justificación es la única salvaguardia del método científico, eliminando las más desenfrenadas fantasías de la imaginación y sometiendo todas las nuevas ideas a un análisis desapasionado y escéptico. Más aún, en este proceso, la ciencia misma puede distinguirse más claramente de otros procedimientos creativos. Deduciendo consecuencias de la hipótesis y comparando éstas con los datos empíricos, la hipótesis puede tanto ser rechazada como recibir apoyo. Si está falsada, debe abandonarse; si es confirmada, sobrevive para luchar un día más.

Como hemos dicho, la singular contribución de Popper ha sido su aguda distinción entre el intento de probar y el intento de refutar las aseveraciones científicas. Aunque ningún número de observaciones confirmatorias pueden permitirnos verificar lógicamente la aseveración universal "todas las aves pueden volar" (a causa de los problemas lógicos y empíricos de inducción), una sola observación de un ave que no vuela nos permite llegar a la conclusión de que *no* todas las aves pueden volar. El intento de probar teorías verdaderas es fútil, ya que es lógicamente imposible. Lo que es posible es deducir la falsedad de teorías a partir de aseveraciones particulares no confirmatorias.

Aquí debe anotarse brevemente que hay una distinción entre falsabilidad en el nivel de la lógica y otra en el nivel del método. Dado que "todos los avestruces son aves", el descubrimiento de un solo avestruz prueba como *lógicamente* falsa la aseveración de que "todas las aves pueden volar". Sin embargo, podríamos insistir en que esta especie no es de ningún modo un ave, sino un reptil con alas o, en efecto, que no puede ser un ave *ya que* no puede volar. De hecho no hay nada que nos detenga para rechazar cualquier tipo de evidencia falsadora, ya que la falsabilidad metodológica, al igual que la verificación lógica, es imposible (véase la siguiente sección). Popper resuelve este dilema esencialmente con un llamado al sentido común, porque si buscamos lo imposible y sin embargo seguimos reinterpretando cualquier evidencia que ataque nuestra hipótesis, pronto haríamos de nuestro método científico una tontería. Por lo tanto debemos, como parte del método, exponer nuestras hipótesis tan claramente y tan sin ambigüedades como nos sea posible, de manera que puedan ser probadas rigurosamente con intentos de refutación; una hipótesis clara y precisa será más fácilmente falsable que una vaga.

Éste es un punto importante para Popper, ya que lo conduce a su propio criterio de demarcación entre ciencia y no-ciencia (o seudo-

ciencia). Para ser científica, una hipótesis debe ser lógicamente falsable. Esto es, debe haber —al menos en principio— una especie de observación concebible que pueda contradecir la hipótesis. La hipótesis de Harvey concerniente al movimiento de la sangre "[...] como si fuera en círculo" es inmediatamente falsable en este sentido. Igualmente lo es la de Torricelli de que la altura de una columna vertical de mercurio (como la de un barómetro) es proporcional al "peso del aire de mar" que la soporta. Aseveraciones que no pueden ser falsadas y que en consecuencia, según este punto de vista, no tienen contenido informativo, incluirían aquellas definiciones y proposiciones matemáticas que son tautologías (por ejemplo: "los ángulos de un triángulo equilátero son todos de 60°); aseveraciones vagas como las que aparecen en los horóscopos populares ("a mediados de mes podría ser bueno para las transacciones de negocios"); y aseveraciones normativas que aseguran no lo que es, sino lo que se considera que debía ser ("es deseable un impuesto directo bajo").

Esta distinción inevitablemente lleva al —digamos— falsador hacia áreas sensoriales. El mismo Popper, por ejemplo, ha proclamado que el psicoanálisis de Freud no es una ciencia, precisamente porque sus teorías pueden explicar todo lo que un individuo puede hacer o experimentar. La cuestión aquí es que una teoría científica genuina hace justamente lo contrario: al hacer únicamente declaraciones limitadas sobre el mundo, en realidad excluye la mayor parte de lo que *posiblemente* podría ocurrir, y a su vez es excluida si lo que excluye ocurre. Una situación similar se obtiene con la teoría de la historia de Marx, aunque los críticos podrían argumentar que es menos una cuestión de infalsabilidad que de haber sido falsada y aun así conservada. Sus seguidores, según dicen, se aferran a la teoría por medio de una modificación (metodológica) constante, de forma que para ellos al menos no ha sido falsada.

Dejando a un lado esta controversia particular, de todas maneras podemos decir que para el falsador una teoría califica como parte del cuerpo de conocimiento científico por ser falsable, aunque todavía no haya sido falsada. Decir que una teoría es falsable es decir que tiene un contenido informativo, y cuanto más informativo sea, más falsable deberá ser. Cuanto más falsable es una teoría es mejor, de forma que es labor del científico aventurar "conjeturas audaces" y no cautelosas. En el sentido de Popper, la audacia de una proposición es una medida de su generalidad, ya que una proposición más general es proclive a ofrecer más oportunidades de falsabilidad que una más limitada a la que subsume. Por ejemplo la ley general que establece la relación inversa entre presión y volumen de cualquier gas, es más falsable que la ley específica que se refiere únicamente al aire. Si los experimentos con aire muestran que la relación es diferente de la inversa, habrán falsado la ley específica

y la ley general. Sin embargo, lo inverso no es verdadero, ya que los experimentos con oxígeno y nitrógeno solos, que también falsaron la ley general, habrían dejado intacta la ley específica.

Falsar una teoría es, para Popper, un punto clave en la ciencia. Realmente, es entonces cuando el cuerpo de conocimientos crece. El concepto de crecimiento y de progreso es decisivo. Mientras que la ciencia inductivista progresa mediante la acumulación de más y más observaciones y mediante la cauta inducción de teorías a partir de las observaciones, para el falsador todas las observaciones van ellas mismas inevitablemente precedidas por teorías (son "guiadas por teorías"), y por lo tanto el progreso tiene lugar haciendo especulaciones atrevidas que pueden servir para más observaciones y sobrevivir a las pruebas que falsaron teorías más tempranas. Para que la ciencia avance, no es suficiente que una nueva teoría sea falsable, sino que debe ser *más* falsable que la teoría que remplaza, porque entonces será más general e informativa.

Desafortunadamente, de ningún modo es siempre un asunto simple decidir cuándo una teoría *ha sido* falsada. Hay dos razones para ello. La primera: existe el problema de que cualquier hipótesis a prueba —es decir que pretende formar parte del cuerpo del conocimiento científico— está inclinada a apoyarse en una o más hipótesis *auxiliares* adicionales, que ya han sido comprobadas independientemente y han alcanzado tal estatus (véase capítulo 3). A pesar de su amplia aceptación, estas hipótesis auxiliares no son "seguras" (simplemente no han sido falsadas) y al intentar determinar el estatus lógico de la nueva hipótesis puede ser que nunca se sepa con certeza cuándo ella, o una hipótesis auxiliar, se confirma o se refuta.

La importancia de la hipótesis auxiliar puede ser fácilmente ilustrada con el trabajo sobre gases de Robert Boyle. Su *ley* acerca de que el producto de la presión y el volumen es una constante, invita a un número infinito de predicciones empíricas que, si se confirman, apoyan la hipótesis y, si no es así, la refutan. En el sentido estricto, sin embargo, esto es una sobresimplificación, ya que depende de la confiabilidad de la hipótesis auxiliar (la de Torricelli) sobre la presión ejercida por la atmósfera. Si esta presión no se añade a la presión experimentalmente ejercida por el mercurio sobre el aire encerrado, el producto de presión y volumen no será constante. El cuadro 1 demuestra la cuestión usando algunos de los resultados de Boyle mismo (simplificados).

En la práctica, el falsador tenderá a pensar que cualquier suposición auxiliar es "verdadera", y entonces le será posible probar por lógica el estatus de su nueva hipótesis. Si, por ejemplo, una predicción deducida por la hipótesis resulta falsa (P_2V en el cuadro 1 no es constante) entonces la hipótesis misma debe tomarse como falsa, como (efectivamente) la única premisa en el argumento. Pero puede

CUADRO 1
EL CONCEPTO DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA COMO HIPÓTESIS AUXILIAR A LA LEY DE BOYLE

Presión experimental ejercida (P_1)	*Presión experimental más presión atmosférica (P_2)*	*Volumen del aire (V)*	*Producto*	
			(P_1V)	*(P_2V)*
0	29.1	48	0	1 397
10.1	39.2	36	364	1 411
29.7	58.8	24	713	1 411
48.8	77.9	18	878	1 402
88.4	117.5	12	1061	1 410

ocurrir que las predicciones deducidas de una hipótesis dada puedan, de hecho, estar igualmente bien derivadas de una o más hipótesis alternativas y contendientes. El problema de escoger entre ellas no es siempre sencillo. Aunque no tiene una justificación estricta en lógica, un "principio de simplicidad" es adelantado comúnmente por los científicos. La idea es atractiva para el falsador, ya que cuanto más simple sea una hipótesis será más sencillamente falsable. Por ejemplo, si probamos la relación entre volumen y presión de un gas y encontramos que podemos expresar los resultados gráficamente como una línea recta de pendiente negativa, podríamos fácilmente concluir que esto confirma la hipótesis de que volumen y presión son inversamente proporcionales. Sin embargo, sin realizar un número infinito de experimentos, siempre es posible que cada uno de los puntos en la gráfica (que muestran verdaderamente *algunas* variaciones de la linear) en realidad estén unidos por una línea de extraña complejidad. Esta última hipótesis podría ser difícil, si no es que imposible, de falsar, y la primera sería seguramente aceptada. Las hipótesis contrarias, aparentemente de igual simplicidad, serían separadas idealmente por medio de alguna forma de prueba crucial en la que se compararían predicciones de observación diferentes, y de preferencia incompatibles. Aunque existen problemas lógicos aun en una situación de este tipo, para propósitos prácticos nos veríamos entonces inclinados a aceptar la hipótesis que recibiera el apoyo más satisfactorio.

El segundo problema para decidir cuándo una teoría ha sido falsada es de nuevo en esencia distinguir entre la falsabilidad en el nivel de la lógica y la falsabilidad en el nivel de la metodología. Cuando una teoría ya ha obtenido confirmación sustancial de otras predicciones, ¿cómo vamos a decidir si el fracaso de una nueva prueba es suficiente para falsarla? Un ejemplo famoso fue el antiguo descubrimiento de que la trayectoria orbital seguida por el planeta Urano no estaba predicha por las ecuaciones generales de Isaac New-

ton. El trabajo de Newton había recibido enorme apoyo por doquier y, en vez de intentar destruir su teoría como resultado de la imprecisa observación nueva, se predijo atrevidamente que un planeta todavía no descubierto era el responsable del movimiento excéntrico de Urano. Investigaciones subsecuentes condujeron al espectacular descubrimiento de Neptuno y, bajo la nueva situación, las teorías de Newton predijeron exactamente la trayectoria observada de Urano y recibieron apoyo satisfactorio.

No es sólo con la sabiduría de la percepción tardía con la que decimos que este procedimiento fue una justificada defensa de Newton. Aunque es posible que el principio parezca una estratagema —similar (según Popper) a la usada por algunos marxistas, que está diseñada sólo para "salvar" la teoría amada—, la diferencia importante es que la reformulación de las ecuaciones de Newton, a la luz del nuevo planeta, pueden ser *probadas* independientemente. *Fueron* probadas y se las encontró sólidas. La órbita de Urano podía, después de todo, ser predicha por la teoría de Newton, aunque en una forma algo diferente de la expuesta por éste.

Si el problema había sido "justificado" (que es distinto a genuinamente explicado), digamos, postulando alguna fuerza oculta en el mismo Urano que causaba su trayectoria impredecible, entonces no se habrían realizado ningunas pruebas. Esto *hubiera* sido una mera estratagema, que los falsadores llaman hipótesis *ad hoc* y cuyo único propósito es evadir la refutación de la teoría principal. Esta distinción es importante, y para aclararla debemos nuevamente referirnos al trabajo sobre la presión atmosférica. El francés Blaise Pascal comprobó la teoría de Torricelli sobre el peso del aire de mar, llevando un barómetro a la cima del Puy-de-Dôme en la región central de Francia. Al mismo tiempo se había propuesto refutar la noción aristotélica de que el mercurio permanecía en el tubo vertical debido al pretendido "horror al vacío" de la naturaleza. Los resultados refutaron esta última hipótesis porque la altura del mercurio caía a medida que se ascendía la montaña. Sin embargo, algunos de los más interesados en ello simplemente introdujeron una hipótesis *ad hoc* de que la fuerza del horror de la naturaleza, más que la presión de la atmósfera, está relacionada inversamente a la altitud. Siempre será el caso de que una idea de este tipo pueda ser verdad, de manera que para la ciencia no tiene interés.

De acuerdo con los falsadores, la moraleja de esto es, claro está, que un científico nunca debe acudir meramente a defensas *ad hoc*, y que la mejor manera de protegerse de esto es *acoger* la falsabilidad, aun de su teoría más cara, como evidencia de algo mucho más importante: el acrecentamiento del conocimiento científico.

Pero ¿cuál debería ser la respuesta a la confirmación de la hipótesis? Cuando una predicción derivada de una nueva hipótesis re-

sulta verdadera, esto no da evidencia en el sentido deductivo estricto para la veracidad de la hipótesis. Sin embargo debe aceptarse que el estatus de la hipótesis en esta situación parece diferente de la que sigue a una predicción falsa. La hipótesis no ha sido comprobada, pero ha ganado algo de apoyo. Únicamente para los falsadores más extremistas la refutación de la hipótesis es la *única* forma en que la ciencia crece. Para la mayoría, la confirmación de las hipótesis es también importante.

Es aquí útil nuevamente distinguir entre hipótesis audaz e hipótesis cautelosa. Con las hipótesis audaces, la confirmación será *más* importante que la falsabilidad. Una hipótesis audaz tiene mucha fuerza de información y predicción, y cuando es confirmada añade a la ciencia algo que previamente se consideraba poco probable o que sencillamente no se había pensado. Tal fue el caso con el descubrimiento del planeta Neptuno o con el descubrimiento de Harvey de la circulación de la sangre (especialmente cuando la vía anatómica del pasaje de las arterias a las venas fue revelado por Malpighi). Pero la falsabilidad de una hipótesis audaz tiene poca importancia para la ciencia global. Sólo el destino podrá anticiparse a las ideas más improbables.

Con hipótesis cautelosas, la falsabilidad es más significativa que la confirmación. Por ejemplo, se pensaba con seguridad que la declaración hecha por un físico aristotélico (o, a ese respecto, por muchos no-físicos modernos) de que un objeto puede moverse sólo como resultado de una fuerza que actúe sobre él, estaba libre de todo riesgo intelectual. Desde Newton, sin embargo, los físicos han considerado esto como falso. Ya que estaba basado en premisas que se consideraban autoevidentes (esto es, "verdaderas"), su refutación es particularmente informativa. Pero la mera confirmación de una hipótesis cautelosa es trivial porque representa todavía más apoyo a algo ya bien conocido.

Ventajas y limitaciones de la falsabilidad

Hemos visto que al reconocer que la teoría precede a la observación el falsador supera el problema inductivista de la forma de observación "sobrecargada de teoría". Entonces, trasladando el énfasis de la verificación de teorías que son *obtenidas* de sus observaciones, a la refutación de teorías que son *pensadas* para describir observaciones, también afirma haber burlado el problema puramente lógico de la inducción misma.

Sin embargo, nosotros hemos visto que la declaración de que las teorías *pueden* ser falsadas no carece de problemas. Mientras que en el nivel de la lógica el descubrimiento de un avestruz necesaria-

mente falsa la afirmación simple de que "todas las aves pueden volar", cuando entramos en la ciencia auténtica la situación es inconmensurablemente más compleja, ya que cada afirmación hecha tiende a apoyarse en numerosas hipótesis auxiliares. Si una predicción sustentada por una teoría científica auténtica se prueba como falsa, nunca podremos estar seguros, ni siquiera lógicamente, de si la teoría, o alguna afirmación auxiliar, es falsa.

Hay todavía otra debilidad en el corazón del falsador, la cual argumenta que hay una distinción cualitativa esencial entre el intento de verificar una teoría, que nunca puede ser decisivo, y el intento de falsarla, que sí puede serlo. Sin embargo, el caso en contra del inductivismo —de que las declaraciones de observación están sobrecargadas de teoría— puede volverse también en contra del falsador casi en la misma forma. Esto es, si una predicción de observación de una teoría indica que esta última ha sido falsada, podemos estar seguros de que esto es así sólo si la declaración de observación es en sí misma confiable. Pero no existen declaraciones de observación totalmente confiables (o al menos nunca podemos saber que lo son), de manera que no tenemos forma de decir si lo falso es la teoría o la declaración de observación. Así, hablando estrictamente, la falsabilidad de las teorías no es más segura que la verificación.

DESARROLLOS RECIENTES

Para muchos científicos practicantes la afirmación de que no podemos ni probar ni desaprobar teorías es sumamente desagradable. El científico *cree* en la confiabilidad de su ciencia y puede muy bien estar tentado a concluir que la filosofía de la ciencia, como gran parte de la filosofía en general, únicamente intenta enredarlo, mostrándole que lo que parece obvio en ninguna forma lo puede ser. El lector que está al borde de la exasperación se sentirá quizás aliviado al saber que uno de los argumentos más fuertes tanto contra el inductivismo como de de la falsabilidad no es sutilmente filosófico, sino que se deriva directamente de la historia de la ciencia. Aunque los inductivistas y los falsadores suelen tomar sus ejemplos del pasado (como realmente deben hacerlo si sus consideraciones se proponen describir lo que realmente ha ocurrido), sucede que los *mismos* ejemplos (la teoría evolucionista de Darwin, por mencionar uno) son a veces usados para ilustrar sus teorías *incompatibles*. También ocurre que otros ejemplos pueden adaptarse únicamente a una teoría (por ejemplo: la genética de Mendel al inductivismo; la fisiología de Harvey a la falsabilidad) o bien a ninguna (algunas interpretaciones de la revolución copernicana). Esto hace surgir las más serias

dudas sobre cualquier afirmación de que exista algo llamado *el* método científico. Quizá sea más bien que diferentes científicos (o ciencias) utilizan métodos diferentes, en la misma o en diferentes épocas de la historia.

Ciertamente, durante los últimos veinte años ha habido un intento de abandonar la idea de que la ciencia es una interacción recíproca entre las teorías individuales y los datos empíricos limitados. La mayor contribución a la influencia de Karl Popper es decir que las formulaciones más importantes en la filosofía de la ciencia, durante los años recientes, hasta cierto punto surgen de una reacción en contra de su trabajo, al igual que éste fue un rechazo del inductivismo y del principio de verificabilidad del Círculo de Viena.

Una lectura cuidadosa de la historia de las ciencias individuales revela que su crecimiento no ha sido exactamente como los falsadores y los inductivistas nos quieren hacer creer, sino más bien como "totalidades" estructuradas y con una continuidad orgánica diferente a través del tiempo. Así, por ejemplo, el desarrollo de la astronomía por el crecimiento del sistema de Copérnico muestra haberse dado de una manera programada sobre un periodo de muchas décadas. Algo muy parecido podemos encontrar en física con los trabajos que conducen hasta la ley de Boyle, que establece la relación entre la presión y el volumen de los gases; en biología con el desarrollo hasta *El origen de las especies* de Darwin y más allá; o en química con la fluctuante fortuna de la teoría del flogisto y el subsiguiente descubrimiento del oxígeno. Cualquier noción de lo que *realmente* es la ciencia debe considerar estos prolongados periodos de crecimiento que tienen toda la apariencia de haber sido "guiados" por alguna unidad que es en conjunto más grande que las hipótesis individuales y las observaciones que comprenden. Vamos a considerar las dos teorías más importantes de este tipo general.

Thomas Kuhn y el paradigma científico

Uno de los primeros intentos de dar a la ciencia el carácter orgánico que parece exigir la historia fue el formulado por Thomas Kuhn en su enormemente influyente libro *The structure of scientific revolutions* (1962). El punto de vista de Kuhn es que la ciencia piensa en términos de comunidades de científicos más que de individuos aislados. Hasta este punto es una teoría sociológica. A pesar del título de su libro, el rasgo más característico de la empresa científica, tal como la describe Kuhn, es su conservadurismo, al que se le ve como consecuencia del prolongado "adoctrinamiento" que los científicos reciben durante su formación. Este adoctrinamiento se ubica dentro de los confines de lo que Kuhn llama un *paradigma*.

En el diccionario la palabra paradigma se explica como *modelo* o *ejemplo*, pero en el sentido que le da Kuhn significa algo más que eso: una gran tradición de investigación, toda una manera de pensar y actuar dentro de un campo dado. Los ejemplos generales serían la mecánica de Newton en física, el concepto del átomo en química y el de la evolución en biología. Ejemplos más específicos son las opiniones acerca de la posición del sol y los planetas sostenidas por astrónomos antes y después de Copérnico, o las ideas sobre la herencia de características que surgen de la obra de Mendel.

Según Kuhn es el paradigma el que representa el todo estructurado de una ciencia dada y también el que conduce las actividades de investigación de la comunidad científica. Esto es así porque el paradigma representa la totalidad de la información básica, las leyes y las teorías que se enseñan al aspirante a científico *como si* fueran verdaderas, y que él debe aceptar si pretende a su vez ser aceptado dentro de dicha comunidad. La labor de la comunidad científica es comparada por Kuhn a una "solución de enigmas" y la suma de esta actividad constituye su "ciencia normal". La ciencia normal, trabajando dentro del paradigma y sin cuestionar su autoridad, es un proceso altamente acumulativo. En este sentido limitado, la noción de Kuhn se asemeja a la de los inductivistas, aunque más fundamentalmente se opone a esa posición por su aseveración implícita de que todas las observaciones tienen el peso de la teoría (porque están determinadas por el paradigma). En seguida veremos que esta visión global de la ciencia se aparta radicalmente tanto de los inductivistas como de los falsadores.

La ciencia normal no sólo es acumulativa. También es estable y de éxito —dentro de sus propios términos. La estabilidad y el "éxito" deben considerarse funciones limitadoras del paradigma, ya que este último ejerce su control asegurándose de que la ciencia normal ataca sólo problemas cuya resolución es segura. (Esto está claramente condensado en la famosa descripción de la ciencia realizada por P.B. Medawar en *The art of the soluble*.) Es en este sentido como Kuhn la compara específicamente con el intento de completar un rompecabezas o resolver un crucigrama. *Hay* una solución y no encontrarla es un fracaso notorio, no del paradigma, sino del científico mismo. Es por este enfoque cauteloso y selectivo por lo que tenemos la impresión de que la ciencia normal progresa rápidamente en comparación con cualquier disciplina que intenta enfrentar problemas que despiertan controversia o pasión.

También significa que el principal interés de la ciencia normal no es la búsqueda de nuevos fenómenos o de novedades considerables, sino el perfeccionamiento del paradigma, el cual, claro está, nunca es perfecto. Kuhn describe este trabajo de "limpieza" como una de las características principales (y poco favorecedoras) de la ciencia

normal. Tiende a promover investigación especializada de grupos esotéricos cuya motivación primaria es descubrir los hechos que son "significativos" en términos del paradigma, que se adecuan a sus predicciones teóricas y por lo tanto proporcionan confirmación. Así el científico *normal* no está interesado en la refutación de teorías y Kuhn rechaza explícitamente la falsabilidad como una metodología. La respuesta de Popper a este ataque es reconocer la existencia de la ciencia normal, pero para rechazarla a su vez como una ciencia meramente mala. Desde el punto de vista de Popper, se trata quizá de que la ciencia normal es ejecutada por esos a los que Víctor Hugo mordazmente describió como el "proletariado intelectual de investigación", individuos que son científicos por ganarse la vida, más que por vocación, que son insuficientemente críticos y están pobremente instruidos.

Sea como fuere, es en razón de que la ciencia normal toma sus paradigmas como un hecho por lo que existe una tendencia a la rigidez, y a rechazar como metafísicos los problemas que aparentan ser demasiado difíciles de resolver. Según Kuhn, la estabilidad dada a una disciplina por la aceptación del paradigma es reflejo de la madurez de esa disciplina. El paradigma es, en una palabra, el criterio de demarcación entre ciencia y no-ciencia. Así la sociología, dice Kuhn, tiene una enorme cantidad de datos empíricos, sin embargo la mayoría de ellos son demasiado débiles y confusos en sus teorías (las que ni explican ni predicen hechos significativos) como para haber desarrollado una estructura paradigmática discernible a la que pueden suscribirse todos los sociólogos. Por lo contrario la física tiene varias tradiciones teóricas bien articuladas que informan ampliamente de sus observaciones y dan notable seguridad a quienes la sustentan.

El hecho de que ocurran cambios de paradigma puede parecer sorprendente en vista de la sofisticada actitud proteccionista con que opera la ciencia normal. Sin embargo, es a la historia de la ciencia a la que apela Kuhn argumentando su teoría, e identifica los revolucionarios cambios de paradigma como el recurso más importante para el "avance" científico. Desarrolla con algún detalle el ejemplo de los cambios dentro de la ciencia de la óptica. Bajo la influencia de Newton se sostenía que la luz consistía en corpúsculos materiales. Dentro de este marco era natural que los esfuerzos de investigación se dedicaran a intentar medir la presión ejercida por los corpúsculos sobre los objetos sólidos. Esa evidencia no se produjo, y para el siglo XIX el paradigma había cambiado, considerándose la luz un movimiento ondulatorio. Entonces se encontró que lo apropiado no era buscar los efectos de la presión, sino más bien investigar fenómenos como la reflexión, la refracción y la interferencia. Aun este paradigma no era totalmente satisfactorio y los li-

bros de texto actuales (los que, sobre todas las cosas, aceptan y articulan paradigmas *prevalecientes*) describen la luz como fotones, los cuales irónicamente comparten algunas de las características de las partículas y otras de las ondas.

En las ciencias maduras el compromiso psicológico de una comunidad con sus paradigmas es enormemente fuerte y es por esta misma razón por la que los eventos que llevan a la caída de un paradigma, y a su remplazo por otro más comprensible, son tan traumáticos, en una forma muy semejante a los trastornos políticos. Los nuevos descubrimientos, de acuerdo con Kuhn, empiezan con la conciencia de una anomalía —esto es, que la naturaleza ha violado en alguna forma las expectativas despertadas por el paradigma. Dada la naturaleza de la ciencia normal, el arranque de una fase revolucionaria encuentra resistencia al principio. El significado de la anomalía observada puede omitirse completamente, o al menos disminuirse. La paradoja asociada con el cambio de paradigma es que esa anomalía genuina se reconoce sólo cuando *hay* un cuerpo detallado de expectativas en el que resulta obvia. Sin el patrón de fondo "recibido", el inesperado resultado no podría verse.

La crisis resultante del nuevo e inexplicable descubrimiento puede, claro, ser grande o pequeña. En la mayoría de los casos la ciencia normal enfrentará finalmente el fenómeno y probará ser capaz de abordarlo. Un ejemplo sería la desviación de la órbita de Urano que se ha mencionado antes. En otros, como quizá con los llamados objetos voladores no identificados, no se proporcionará una solución universal y sin embargo las explicaciones externas al paradigma prevaleciente se considerarán sin la suficiente plausibilidad o probabilidad como para propiciar una reconsideración más seria. De acuerdo con esto, el problema será apartado en espera de mayores datos. En el tercer caso (por ejemplo, el rechazo de Ptolomeo por Copérnico), donde la nueva teoría parece representar una mejora fundamental, aparece típicamente un periodo de ciencia extraordinario que puede parecer fortuito, o casi desesperado. Los defensores del viejo paradigma y los del nuevo se alinearán en lados opuestos. Aun en una ciencia tan altamente cuantificada y precisa como la astronomía, durante un periodo de crisis auténtica la investigación puede presentar esa apariencia que se ve en las ciencias menos maduras, en las que no ha surgido aún un paradigma claramente aceptado. En esta forma surgen "escuelas" opuestas de pensamiento cuyas interpretaciones contrastantes de los datos de observación llevaron a Kuhn a describirlas como "viviendo en mundos diferentes"

La experiencia de una revolución científica puede compararse a la de una "conversión religiosa", y Kuhn utiliza el ejemplo de la *gestalt* visual en el que los datos primarios, digamos unas líneas en un papel, no cambian en el mas mínimo detalle, y sin embargo la mente,

antes y después de la experiencia, los interpreta en formas radicalmente diferentes (véase la figura 3). Instancias menores de la naturaleza psicológica de esta experiencia son realmente bastante comunes en ciencia, aun en la vida cotidiana, y serán familiares a cualquiera que de pronto haya entendido lo que es "ver" finalmente el objeto que buscaba en la placa del microscopio. Los casos mayores son dramáticos y absolutos porque el compromiso que tan fatigosamente logró el científico con su paradigma se rompe únicamente con una falla notable, que le obliga a la transferencia *simultánea* de lealtad a lo que es, en efecto, una nueva "visión del mundo".

Tras el rompimiento, los individuos se encuentran respondiendo al mismo "mundo" como si éste fuera totalmente diferente, y en este sentido nuevamente la comparación de Kuhn con una revolución política es adecuada. La revolución trae cambios tan radicales que hubiesen sido prohibidos por el antiguo paradigma (las instituciones). La elección entre lo nuevo y lo viejo es por lo tanto igual que entre formas de vida incompatibles y no es sorprendente que los cambios de paradigma hayan surgido siempre de los jóvenes, o al menos de aquellos recién llegados a un campo particular. Inversamente, no es extraño que la lealtad al viejo paradigma cese sólo con la muerte de sus defensores. Como lo expresa Max Planck: "Una nueva verdad científica no es usualmente presentada en una forma tal que convenza a sus opositores; más bien ellos desaparecen gradualmente, y la nueva generación se familiariza con la verdad desde el comienzo."

Aquí llegamos a lo que algunos consideran el contraste más fundamental entre Popper y Kuhn. Este último dice que los paradigmas *no* son rechazados falsificando comparaciones con la naturaleza, sino únicamente después de su comparación con la naturaleza *y* con un paradigma como alternativa. El científico está simplemente demasiado comprometido con su presente paradigma como para rechazarlo por una anomalía, ya que esto implicaría el rechazo de la ciencia misma, y la investigación sería imposible a partir de ese momento. Así "el acto de discernimiento que lleva al científico a rechazar un paradigma siempre es simultáneo con el de aceptar otro". Para Kuhn el cambio de *gestalt* es fundamentalmente un proceso psicológico *no-racional*; ningún argumento estrictamente lógico puede explicar el cambio ni, finalmente, defender un paradigma de otro. Esto no quiere decir, por supuesto, que los argumentos lógicos no tengan que ver en el asunto, sino más bien que la crisis revolucionaria ventila una variedad de estándares fundamentales y suposiciones metafísicas que *pueden* ser resueltos —en el momento de la crisis en todo caso— únicamente en términos de juicio intuitivo.

Mientras que no existe una razón *a priori* por la cual un nuevo pa-

FIGURA 3
Un ejemplo de *gestalt* visual: ¿es esto un dibujo de una anciana o de una joven? ¿O ambos?

radigma puede juzgarse superior a su predecesor, Kuhn se muestra en dificultades para señalar que es "un creyente convencido del progreso científico". Y eso a pesar del elemento irracional ubicado en el centro de su teoría. Kuhn argumenta que el progreso ocurre en la ciencia normal cada vez que un nuevo enigma se resuelve, y también cuando en las revoluciones el nuevo paradigma promueve soluciones más exitosas de los enigmas haciendo nuevas preguntas y sugiriendo observaciones diferentes y nuevas técnicas de experimentación. Al menos en retrospectiva, decimos que la ciencia avanzó en física con la revolución de Einstein, porque los enigmas resueltos por Newton fueron resueltos también por Einstein, junto con un pequeño número de enigmas críticos sobre los que los paradigmas newtonianos dieron soluciones erróneas o no tuvieron nada que decir. Pocos asegurarían que Newton estaba *equivocado*, sin embargo, en algunos aspectos cruciales la teoría de Einstein parece ser "mejor".

Muchos se sentirían inclinados a ir un paso más allá y decir que mientras que el paradigma de Einstein no es quizá la verdad última, está más cercano a la verdad que el de Newton. Si esto no puede asegurarse, argumentarían, es difícil ver en qué forma puede tener sentido la expresión "más cercano a la verdad". Pero es respecto a la idea misma de "verdad" que Kuhn se muestra inseguro. Intenta sugerir que puede haber una analogía entre la progresión de las ideas científicas y la evolución de los organismos vivos. *Hay* progreso en la ciencia, pero ha ocurrido "no en beneficio de un fin determinado, de una verdad científica permanentemente fijada, de la que cada paso en el desarrollo del conocimiento científico es un ejemplo mejor". Para Kuhn, no hay evolución *hacia* ninguna parte.

Imre Lakatos y los programas de investigación

La segunda teoría, que deriva de la historia una visión de la ciencia como si ésta estuviera constituida por unidades orgánicas estructuradas, fue presentada por Imre Lakatos en 1970. En su "falsabilidad metodológica sofisticada", habla de secuencias de teorías que están unidas en *programas de investigación* continuos. Los programas ofrecen al científico una guía, tanto sobre cuáles problemas de investigación evitar y cuáles proseguir, lo cual constituye la *heurística negativa* del programa. Éste se caracteriza por un "núcleo duro" de información esencial, la cual, dice Lakatos, "es irrefutable por la decisión metodológica de sus protagonistas", y porque surge tras un largo periodo de ensayo y error. Una vez establecido, el núcleo duro es sacrosanto, y en todo momento es defendido contra los ataques por un "muro protector" de hipótesis auxiliares y de observaciones, cuya función debe ser comprobada y refinada, o por com-

pleto rechazada, sin dejar de proteger al núcleo. Así, en un programa de investigación dado, varias hipótesis auxiliares se sumarán para acomodar nuevas anomalías, y el programa está llamado a ser tan progresivo como lo sea la amplitud de observaciones empíricas que precisa para crecer, particularmente en el sentido de su éxito para predecir hechos nuevos. Si no puede hacer esto, el programa es descrito como degenerativo.

Como ejemplo de un programa de investigación progresivo, Lakatos toma la audaz teoría de William Prout (1815) de que el peso atómico de todos los elementos debe darse en números enteros. Esto, dice, estuvo al principio hundido en un océano de anomalías. El núcleo duro del programa era que todos los elementos están compuestos de átomos de hidrógeno (a los que ya les había dado el peso atómico de 1), y los promotores del programa de Prout, que ya habían decidido aceptar el núcleo duro, podían explicar anomalías únicamente en términos de lo inadecuado del muro protector. Así, cuando fueron confrontados con la observación aparentemente falsable de que el peso atómico del cloro es 35.5, la defensa tenía que hacerse en términos de la pregunta: "¿es el cloro un elemento químico puro?" Puesto que sí lo era, según la mejor evidencia de la época, los seguidores de Prout tenían entonces que rechazar la base teórica de esta evidencia revolucionando las técnicas de la química analítica. Aunque la teoría fue considerada muerta durante muchos años, a principios del siglo XIX surgieron nuevas ideas sobre la estructura del átomo, y mientras tanto se estableció una nueva versión de la teoría de Prout. La guía proutiana para ese apoyo radical y persistente fue proporcionada por la *heurística positiva* del programa de investigación, o sea una maquinaria para resolver problemas, para digerir anomalías y así sucesivamente. Esto fue lo que les mostró qué problemas particulares buscar en su prolongada lucha para desarrollar las necesarias "variantes refutables" del muro protector.

Lakatos discute, como ejemplo particular de la heurística positiva, el desarrollo que Newton hace de su teoría gravitacional de un sistema planetario. Newton obtuvo su ley cuadrada inversa considerando el modelo simple de un planeta en forma de punto moviéndose elípticamente en torno a un sol fijo en forma de punto. Sin embargo, este modelo entraba en conflicto con su propia tercera ley del movimiento (parte de su núcleo duro) y tenía que remplazarse por la del sol y los planetas girando sobre su centro común de gravedad. Nuevamente aquí se tenía que recurrir a situaciones más cercanas a lo real en las que los planetas de tipo esférico fueran atraídos no únicamente por el sol, sino también unos por otros. Este desarrollo progresivo del programa implicaba grandes problemas matemáticos y, según Lakatos, Newton los resolvió bajo la influencia rectora de su heurística positiva en vez de encarar las muchas

anomalías que él bien sabía que existían. Es a este importante respecto al que Lakatos se refiere cuando dice que la heurística positiva proteje a los científicos de las desconcertantes influencias de las contraobservaciones; sólo por medio de su escudo defensivo es posible el desarrollo temprano de su programa de investigación, con aislamiento relativo de potenciales instancias falsables. El programa puede entonces establecerse sobre bases sólidas, antes de que estas últimas tengan que encararse. Esto supera el embarazoso hecho histórico de que muchas teorías que, como se comprendió después, aunque nacieron para ser consideradas de importancia significativa para la ciencia, pudieran, en términos de falsabilidad, haber sido ahogadas al nacer a causa de anomalías no explicadas.

En el caso del sistema planetario de Newton, el examen de los datos de observación mostró que algunas de las anomalías podían ser explicadas por este modelo, aunque muchas no. Las anomalías no explicadas empujaron a Newton a mayores desarrollos teóricos, por ejemplo a considerar los planetas como no esféricos. La heurística positiva sugería también una política de investigación práctica, por ejemplo mejorando las técnicas telescópicas y percibiendo las fuerzas gravitacionales en el laboratorio. El desarrollo técnico y experimental podría, según se creía, llegar a refutar la contraevidencia y proporcionar observaciones confirmatorias, y nunca hubo ejemplo más espectacular de esto último que cuando el planeta Neptuno fue primero predicho y después observado.

Lakatos coincide en mucho con Popper sobre los pasos que pueden establecerse legítimamente para "salvar" el programa de investigación. El muro protector podría ser modificado para defender el núcleo duro en cualquier forma, siempre que no sea únicamente *ad hoc* y, por esto, inestable. Que un programa sea exitoso y realmente *científico* significa, de hecho, que debe mantener su propio marco ordenado y cohesivo para guiar la investigación, y debe continuar generando nuevos fenómenos que pueden ser comprobados. Para Lakatos, por lo tanto, al igual que para Popper, la sociología y el psicoanálisis no pueden ser considerados ciencias, ya que no pueden cumplir los criterios primero y segundo respectivamente.

La teoría de Lakatos fue formulada, dice, como un intento para desarrollarse y mejorar por medio de "anteojos popperianos" en la consideración falsadora, particularmente proporcionando a sus teorías continuidad a través del tiempo. Al hacer esto la teoría reveló también su deuda con Kuhn. Otra similitud con la teoría de Kuhn es el problema de determinar cuál de los dos programas contendientes es "mejor" para la investigación, o al menos es el que debe preferirse. Decir que un programa progresivo debe preferirse a uno degenerativo es dar por sentado lo que queda por probar, ya que Lakatos no presenta una guía infalible sobre cómo puede detectar-

se una degeneración irremediable. Puesto que el desarrollo futuro no puede conocerse, nunca podremos estar seguros de que no ocurrirá algún replanteamiento nuevo y espectacular que revitalice un programa aparentemente "degenerado" y lo transforme en un gran éxito. Esto, de hecho, es señalado por muchos críticos como la debilidad determinante de la consideración de Lakatos. Decidirse en favor o en contra de un programa de investigación parece, al igual que en los paradigmas de Kuhn, requerir de un salto esencialmente intuitivo por parte del científico, aun cuando Lakatos explícitamente se desliga del marco *sociopsicológico* de Kuhn, describiendo el suyo como *normativo*. En cualquier caso, un crítico que saca mucho provecho del problema, mientras afirma simultáneamente que la teoría de Lakatos es "la metodología más avanzada y sofisticada en la actualidad", es Paul Feyerabend, con cuyos puntos de vista radicales, por no decir divertidos e irreverentes, de la filosofía de la ciencia, terminamos este capítulo.

Paul Feyerabend y el principio "todo se vale"

El principal lazo de unión entre todos los casos de la ciencia que hemos considerado hasta aquí, ha sido el énfasis en la racionalidad y el "progreso". A pesar de las importantes diferencias en cuanto a la interpretación del avance científico, todos los filósofos han destacado el proceso lógico por el que las antiguas teorías son remplazadas por las nuevas. Ciertamente, en las consideraciones de los inductivistas y los falsadores se ha puesto atención casi exclusivamente en la justificación de las teorías, mientras que los métodos de descubrimiento o "creación" son considerados como asunto de interés únicamente para los historiadores, los sociólogos y los psicólogos.

En su libro *Against method: outline of an anarchistic theory of knowledge* (1975), Paul Feyerabend describe un cuadro "irracionalista" de la ciencia; niega que haya, o haya habido, *un* método científico objetivo y afirma que si algún progreso científico es discernible se debe a que los científicos han roto toda regla de racionalidad concebible. Comparándolo con sus compañeros más convencionales, Feyerabend inevitablemente parece ser el extremo. Pero si él mismo usa métodos retóricos y propagandísticos (con los que caracteriza a los científicos de éxito) para erosionar nuestra confianza en la "objetividad", debe reconocerse que su violento ataque es terapéutico si nos obliga a mirar nuevamente la árida solemnidad de gran parte del debate que tan agudamente divide la visión idealizada de ciencia de los filósofos, de la experiencia de los practicantes sobre lo que debería hacerse.

Feyerabend arranca de la muy razonable premisa de que la "pro-

liferación de teorías es benéfica para la ciencia, mientras que la uniformidad deteriora su poder crítico". La uniformidad que él ve es producto de una conspiración ideológica que se conserva religiosamente en la institucionalización de la ciencia. Así, la ciencia actual funciona demasiado como lo hizo la Iglesia en los tiempos antiguos, siendo los hombres de bata blanca los modernos portavoces de una autoridad irrefutable, absoluta. Desviarse de los estándares conformistas de esta comunidad científica adoctrinada, significa ser etiquetado como "poco científico" y esto, en la práctica, se traducirá en ser considerado como defensor no sólo de lo no-científico, sino de la necedad.

Para hacer proliferar ideas es esencial seguir "el único principio que no inhibe el progreso: *todo se vale*". Que ésta *es* la única metodología para la ciencia se descubre con un examen de la historia. De acuerdo con Feyerabend, ningún episodio en la ciencia real es suficientemente simple para adaptarse a cualquiera de las metodologías convencionales; así, ha sido práctica normal arreglárselas con los hechos inconvenientes ignorándolos, justificándolos en patente forma *ad hoc*, o aun escondiéndolos tras un muro de retórica. Como ejemplo, Feyerabend discute la defensa que hace Galileo de la astronomía de Copérnico. Por ejemplo, Galileo mostró a través de su telescopio que la luna tenía montañas y que la altura de éstas podía ser estimada por la longitud de sus sombras. Haciendo esto esperaba refutar la idea aristotélica de que todos los cuerpos celestes eran esferas cristalinas perfectas, sin embargo, en su época los telescopios eran de una calidad exageradamente mediocre y las extremadas inexactitudes de los dibujos del mismo Galileo podían ser detectadas a simple vista. Galileo no proporcionó razones teóricas de por qué las observaciones telescópicas debían ser aceptadas como superiores para observar el cielo, y Feyerabend asegura que su única razón para preferirlas era su proclividad a confirmar a Copérnico. En resumen, según el escrito de Feyerabend, Galileo prevaleció sobre sus críticos en virtud de su astuta propaganda. No demostró que su caso era "mejor", sino que lo presentó más hábilmente.

El agrado de Feyerabend por la consideración de Lakatos se deriva de su afirmación de que éste es simplemente un anarquista disfrazado. En su fracaso para definir el tiempo límite después del cual debe abandonarse un programa de investigación degenerativo, Lakatos parece admitir que no *hay* medios racionales por los que un científico pueda dirigir su lealtad a uno u otro programa. La de Lakatos parece ser la metodología más sofisticada, pero, cuando se desarma en sus puntos esenciales, no se revela como metodología en absoluto. Sin embargo, esto debe agradecerse, dice Feyerabend, ya que no sólo la gran cantidad de teorías lanzadas dentro de una ciencia anárquica tienen que competir unas con otras en una atmósfera

de ilimitada libertad para todos, sino que la ciencia misma debe ser evaluada por sus métodos en abierta competencia con otros campos de conocimiento como el misticismo, la astrología y la magia. La ciencia no necesariamente puede probarse como la "mejor" ideología que debe seguir un individuo dado, así como tampoco una teoría dada o una metodología de la ciencia puede probarse como la mejor. Pero al permitir una elección genuina (lo cual significa presentar esquemas alternativos en un momento temprano del sistema educativo), aquellos que sean más aptos para la ciencia elegirán seguirla y en esta forma la ciencia misma sólo podrá ganar con ello.

5. LA NATURALEZA DE LA CIENCIA: CIENCIAS FÍSICA, BIOLÓGICA Y SOCIAL

En los dos últimos capítulos se trataron las características y metodologías de las diferentes ciencias como si fueran realmente partes de un mismo tema. En tanto que es perfectamente posible defender la posición de que hay una filosofía de la ciencia única aplicable en todo lo ancho a disciplinas tan diversas como la física, la geología, la genética, la psicología, la sociología y quizás a algunos aspectos de la historia, es también legítimo argumentar que hay numerosas filosofías de la ciencia, cada una apropiada a su propio tema particular. Como en muchos otros temas afines, así ocurre también en la filosofía de la ciencia: es probablemente mejor, en un contexto elemental, evitar posiciones extremas y considerar estas aparentes alternativas sólo como diferencias de énfasis. El propósito de este capítulo es considerar estas diferencias tal como ocurren en algunas de las áreas de controversia más importantes. Nos concentraremos particularmente en esclarecer si las diferencias que indudablemente existen entre los tipos mayores de ciencia —físico, biológico y social— son de género o sólo de grado.

LA CIENCIA MODERNA Y SU FILOSOFÍA

Hemos visto que el modelo hipotético-deductivo, derivado en época reciente del trabajo de Karl Popper de mayor influencia, es la filosofía de la ciencia moderna. Según este punto de vista no hay lógica de descubrimiento en el método científico ni importancia filosófica que pueda atribuirse a las circunstancias en las que se formula una hipótesis. El acto de creación es considerado inevitablemente oscuro, aunque no se considera que la oscuridad de los orígenes de una declaración científica afecte su estatus de "verdadera". El papel de los filósofos de la ciencia convencionales es pues considerado como un análisis de la lógica de la justificación. En este contexto, el criterio de demarcación entre ciencia y no-ciencia se entiende como lo comprobables (o más estrictamente, según términos popperianos, lo falsables) que son las hipótesis. En el modelo idealizado, una hipótesis es comprobable en una forma simple y universal. Se la confirma (aunque nunca se la verifica en el sentido deductivo) cada vez que sus implicaciones se ajustan a observaciones nuevas y variadas,

o se las refuta mediante un simple ejemplo de desajuste. Aunque la búsqueda de las pruebas finales es fútil porque encontrarlas es lógicamente imposible, la "verdad" de una hipótesis tiende a ser juzgada en términos de su aproximación al modelo deductivo idealizado —aquel en el que la inferencia surge de las necesidades de las premisas—, de cuán efectivamente explica los datos conocidos, y cómo logra predecir con éxito los datos aún desconocidos. Por la misma razón, una inferencia que se obtiene inductivamente sólo puede ser más o menos probable, y por lo tanto la fuerza explicativa de la hipótesis usualmente es más débil.

Este tipo de diferencia —tan simplificada como se presenta— entre las inferencias deductiva e inductiva forma una base parcial para el tradicional arreglo jerárquico de las ciencias en términos de la generalidad de sus temas. De acuerdo con este punto de vista, la física ocupa la posición más elevada en razón de que su tema es universal, ya que las propiedades físicas son fundamentales en todas las cosas. La química es en cierta forma menos amplia en alcance, porque si bien todas las cosas tienen propiedades químicas, usualmente se considera posible reducirlas a las aún más básicas propiedades físicas. Hay un continuo en química que va de las ramas dedicadas sólo a los sistemas no vivientes hacia aquellos dedicados a la química de los procesos de vida. Así, las ciencias biológicas son aún menos amplias, ya que se ocupan solamente de los cuerpos vivos. Ellas también se desvanecen gradualmente en las ciencias sociales o del comportamiento por mediación de la psicología, hasta que tratándose de una ciencia como la sociología el alcance es significativamente limitado, ya que concierne sólo a una pequeña fracción del mundo, o sea las sociedades humanas.

Aunque la reducción de la química a la física provoca poca indignación, hay una controversia continua, y aún no resuelta, sobre si es permisible reducir los fenómenos de la sociología a los de la psicología, los de la psicología a los de la biología, y finalmente los de la biología a los fenómenos físico-químicos (véase más adelante). Sin embargo, la tendencia a hacer esto es probablemente más común actualmente que en cualquier época del pasado. Durante muchos siglos la explicación ortodoxa de los fenómenos naturales era la teleológica (es decir, determinista) que describía los acontecimientos presentes en términos de fines futuros y "más elevados". Así, la caída de la manzana era el resultado de la atracción mutua entre la tierra y el elemento terrenal de la manzana; este último debía esforzarse por alcanzar su lugar natural. A partir del siglo XVII, los acontecimientos que se han ido presentando han sido explicados cada vez más como resultado de la influencia causal de acontecimientos del pasado, y esto ha dado impulso a la actitud reduccionista en la ciencia, que es opuesta por completo a la que prevalecía en la época

medieval. La situación provoca problemas filosóficos enormes y de gran alcance, no siendo el menor de ellos el que mientras que ahora decimos que la causa de la caída de la manzana se debe a la gravitación universal, somos incapaces de comprender algo más sobre la verdadera naturaleza de esta fuerza de lo que Newton mismo comprendía. (Ciertamente, en la teoría de la relatividad de Einstein, la teoría gravitacional no está considerada en ninguna forma como una fuerza.)

Para muchos científicos y filósofos, parece que hay una falta de claridad y de certidumbre en el corazón mismo de la ciencia. Éste es un problema muy familiar a los filósofos, pero ha sido casi universalmente ignorado por los científicos practicantes. El problema consiste en que las entidades fundamentales en nuestra experiencia del mundo parecen imposibles de analizar o definir con exactitud, de manera que en este nivel hay inevitablemente confusión y desacuerdo sobre lo más básico de nuestros datos conceptuales. Mientras este siga siendo el caso, será difícil, por no decir imposible, encontrar versiones únicas para conceptos primarios tales como gravedad, aceleración o masa, esto es, versiones que reciban el asentimiento de todos. Aun la idea misma de causa —que está profundamente sumergida en la historia intelectual, en la experiencia humana de la relación con el mundo y en la explicación mecanicista del universo— es ahora un foco de debate filosófico sutil y ambiguo interminable.

LOS FUNDAMENTOS DE LA FÍSICA MODERNA

Los problemas han sido especialmente agudos en las áreas de la física relacionadas con la naturaleza del mundo material. En la búsqueda de la comprensión de los misteriosos fenómenos revelados durante el siglo XX, los físicos se han sentido cada vez más obligados a extender sus intereses más allá de los límites de la física, dentro de campos que tradicionalmente han sido dominio de la filosofía. Al mismo tiempo los filósofos se han visto obligados a considerar los revolucionarios descubrimientos de la física como una parte importante de la información primaria de la filosofía. Hasta ahora estas tendencias no han dado ningún indicio de una síntesis universal aceptable para todos, pero al menos han asegurado que las tradicionales cuestiones de la naturaleza del mundo físico, del significado y la condición de la vida, tienen que considerarse bajo la luz de nuevas evidencias.

Desde el Renacimiento hasta finales del siglo XIX los acontecimientos del mundo se consideraron cada vez más como las conse-

cuencias predecibles de eventos precedentes, siendo estos últimos derivables de fundamentos claros y simples. Esta convicción era reflejo de la imagen simplista y por supuesto muy popular del mundo, según la cual éste consistía en pedazos sólidos de una materia homogénea que con una organización apropiada podrían ser parte de máquinas. Sus entidades básicas no estaban muy alejadas de los datos de la experiencia cotidiana. Esta materia estaba pues constituida por átomos parecidos a bolas de billar, la masa se asemejaba al concepto familiar del peso, y la idea de fuerza se visualizaba mediante analogías tales como la tensión desarrollada en los músculos.

Hacia principios del siglo XX, esta imagen se venía abajo en sus mismos cimientos. La búsqueda cada vez más tenaz que hacían los físicos de las propiedades fundamentales de la materia reveló entidades y conceptos bastante diferentes de los del mundo familiar. Algunos de éstos, como la aparentemente interminable serie de "partículas" elementales, o las llamadas ondas de probabilidad, parecían como algo natural, mientras que otras, como la relatividad del tiempo y del espacio, se notaban extrañas y antinaturales. La materia misma era indistinguible de la energía, el electrón no era una *cosa* cargada con electricidad negativa, sino que se le concebía más bien como una carga negativa que se cargaba, por así decirlo, a sí misma.

Muy lejos ya de la confiada creencia del siglo XIX de que la marcha triunfal de la ciencia iba a ser de algún modo la expresión final del espíritu humano, hemos alcanzado ahora una nueva condición de duda e incertidumbre, una condición en la que lo único que parece ser cierto es que nuestra comprensión del universo, y nuestro sitio en él, son necesariamente limitados. Particularmente las teorías de la física moderna, acopladas con el crecimiento del relativismo y la recesión de la "objetividad" en la filosofía de la ciencia, han dejado la impresión de que el mundo que con tanto éxito descubrió la ciencia, no es el mundo real. Claro está que la ciencia puede decirnos mucho sobre el mundo, pero aparentemente no puede proporcionarnos toda la verdad.

Uno de los descubrimientos más atractivos, y con un impacto particularmente desconcertante en nuestra concepción global de lo que el mundo "realmente" es, fue el *principio de incertidumbre* planteado por Werner Heisenberg en 1929. Este principio expresa las limitaciones de los conceptos de la física clásica en una forma matemática precisa. En el más diminuto mundo de las partículas elementales parece ser que los eventos no siempre siguen la experiencia causal estricta de nuestra experiencia normal, o la de las leyes físicas tal como son aplicadas en el mundo macroscópico. Por supuesto, el comportamiento de las partículas de ninguna manera es caótico, y sin embargo un aparente grado interior de indeterminación en el nivel más básico de funcionamiento del mundo, es un hallazgo inmensa-

mente radical. Significa, por ejemplo, que es imposible medir exactamente tanto la velocidad como la posición de una partícula fundamental, o asegurar si las partículas han retenido o no sus características originales después de chocar. Esto quiere decir que hay incertidumbre tanto de destino como de identidad. Es extraordinario que en el nivel básico de la física, la ciencia arquetípica "dura" o exacta, el resultado de los acontecimientos no pueda, después de todo, predecirse de acuerdo con el modelo deductivo, sino que pueda especificarse únicamente en términos probabilísticos usualmente asociados con disciplinas menos precisas. Aún más, parece ser que en las mismas matemáticas, consideradas durante miles de años en la tradición occidental como el mayor modelo de inteligibilidad y racionalismo, es imposible, también dentro de la naturaleza de las cosas, alcanzar nunca una finalidad de comprensión. Así el *teorema de la incompletitud* (1931) de Kurt Gödel demostró que ningún grupo de relaciones lógicas puede establecerse sin que implique la existencia de otras nuevas relaciones con las que el mismo grupo no puede enfrentarse. Hasta un sistema deductivo puro queda entonces inherentemente incompleto y sin posibilidad de completarse.

La importancia filosófica de estos hallazgos se refleja en la enorme cantidad de literatura que han generado. Mientras que todavía no puede decirse que hay unanimidad de interpretación (se han propuesto versiones "no-subjetivas" de la física moderna —especialmente por Paul Forman— y, claro está, han sido criticadas), no existe duda en que el impacto ha sido profundo en nuestra percepción del mundo y de la naturaleza de la verdad científica. ¿Es el problema meramente de metodología? ¿Nos permitirán los avances posteriores de la ciencia ocasionalmente recobrar un esquema más determinista de causalidad? ¿O realmente existe para el hombre un límite en el conocimiento científico del mundo? Si, como muchos filósofos y científicos creen, es este último el caso, estos descubrimientos tan fundamentales pueden mostrarnos sólo la vaguedad de la tradicional dicotomía occidental entre lo objetivo y lo subjetivo, lo público y lo privado. Si al estudiar la naturaleza, la ciencia inevitablemente afecta la esencia de aquello que estudia, debe ser porque la ciencia después de todo sólo puede darnos la apariencia del mundo y no su realidad. Pareciera que nuestra situación no es mejor que la de los prisioneros en la Alegoría de la caverna de Platón. Estamos, por así decirlo, encadenados y en una posición tal que sólo podemos ver las sombras de acontecimientos *reales* que ocurren en el mundo externo a nuestra caverna. Podemos estudiar esas sombras con gran exactitud, pero no tenemos conocimiento directo de la realidad que hay tras de esas sombras. El mismo Heisenberg lo expresó así:

[...] ya no podemos considerar "por sí mismas" esas piedras constructoras de materia que originalmente parecían ser la última realidad objetiva. Esto es así porque desafían todas las formas de ubicación objetiva en el espacio y en el tiempo, y porque básicamente es siempre sólo nuestro conocimiento de estas partículas lo que podemos hacer el objeto de la ciencia. En esta forma la finalidad de la investigación ya no es entender a los átomos y su movimiento "en sí mismos" [...] Desde el momento de empezar, nos encontramos involucrados en la disputa entre la naturaleza y el hombre, en la que la ciencia sólo desempeña una parte, de manera que la común división del mundo en sujeto y objeto, mundo interior y mundo exterior, cuerpo y alma, ya no es adecuada y nos conduce a dificultades. En esta forma, aun en la ciencia *el objeto de investigación ya no es la naturaleza en sí misma, sino la investigación que el hombre hace de la naturaleza*. Nuevamente aquí, el hombre se confronta sólo consigo mismo.

Estamos lejos del siglo XVII, cuando Galileo podía decir con confianza total: "Las conclusiones de la ciencia natural son verdaderas y necesarias, y el juicio del hombre no tiene nada que ver con ellas." De hecho hemos llegado tan lejos que hemos alcanzado el punto en que los intereses de la ciencia coinciden con lo que es quizá la mayor interrogante de toda la filosofía: el problema del conocimiento en sí mismo. ¿Qué es lo que podemos *realmente* conocer? Finalmente, según se hace evidente para muchos pensadores modernos, la ciencia no puede estudiar la naturaleza "en sí misma", sino únicamente hacer investigaciones humanas de la naturaleza, lo que, incidentalmente, implica una buena parte de las preferencias filosóficas y de los prejuicios que los individuos seguramente involucrarán en este estudio (véase el capítulo 6). No podemos examinar el comportamiento de las partículas elementales, sino únicamente nuestro conocimiento de este comportamiento, y es en este sentido como Heisenberg concluye que "el hombre se confronta sólo consigo mismo". Podemos terminar este breve comentario sobre un tema tan enorme con un excelente (aunque, claro, muy polémico) pasaje citado por Heisenberg de su compañero físico Arthur Eddington (1882-1944).

Hemos encontrado que aunque la ciencia ha progresado demasiado, la mente apenas ha recuperado de la naturaleza lo que ella misma ha puesto en la naturaleza. Hemos hallado unas huellas extrañas en las playas de lo desconocido. Hemos diseñado profundas teorías, una tras otra, para explicar sus orígenes. Finalmente hemos logrado reconstruir la criatura que dejó esas huellas. ¡Y he aquí que eran las nuestras!

LAS IDEAS DE LA BIOLOGÍA

Esta nueva imagen del hombre y su percepción de la realidad se ha derivado exclusivamente de las ciencias físicas y de las matemáticas. El cuadro estaría incompleto sin algunas consideraciones de la contribución que han hecho las ciencias vitales, en particular porque para los biólogos es más familiar que para los físicos la idea de que el azar y la incertidumbre existen como elementos básicos en los trabajos de la naturaleza. Esto está implícito en la teoría de la evolución orgánica —el gran principio organizador de la biología— que tuvo su origen más tempranamente que la mecánica cuántica y la relatividad, y que en muchos aspectos tiene implicaciones que son igualmente de largo alcance.

El biólogo está totalmente acostumbrado a los procesos de desarrollo. Encuentra desarrollo tanto en lo que llama ontogenia como en filogenia —esto es, en el "progreso" aparente de lo individual a través de su largo y complejo crecimiento embriológico, así como en los cambios a través del tiempo geológico que observa en colonias de organismos. De manera que examina las exquisitas complejidades en el desarrollo del embrión del polluelo, y observa en el fósil del "caballo" la manera como evoluciona, a través de decenas de millones de años, de una criatura del tamaño de un perro hasta convertirse en el moderno *Equus*. En ambos niveles el cambio puede verse como la realización progresiva de potencialidades. Y éste es un proceso selectivo porque produce, de las células indiferenciadas originales del embrión, celulas especializadas para ejecutar únicamente funciones particulares (musculares, nerviosas, etc.) en el adulto; y de una población *generalizada* de antepasados tipo mono, formas *específicas* como chimpancés, gorilas y hombres de la época actual.

Nuevamente en ambos niveles, parece que la información contenida en forma potencial en un sistema simple alcanza finalmente su realización en sistemas más complejos. Sin embargo, quizá la distinción más fundamental entre los procesos de embriología y evolución es que en el primero el desarrollo normal probablemente no incluye los factores de azar, mientras que en el último las mutaciones casuales son casi de seguro esenciales en el largo plazo. No existe duda de que, dejando transcurrir generaciones suficientes, ocurren cambios significativos en poblaciones viables como resultado de la mera recombinación de las potencialidades genéticas durante la cruza entre ellas. Se cree que la *selección natural* —que el medio ambiente hace de cualquier característica favorable resultante— asegura que los organismos que la poseen dejen más crías. Pero sería absurdo creer que el reino animal, en toda su variedad, ha evolucionado simplemente mediante el cambio y la selección de las poten-

cialidades hereditarias presentes en la población original de los organismos unicelulares. La generación "espontánea" de nuevas potencialidades por mutación proporciona a la evolución esa dimensión extra frente al desarrollo embriológico que explica la aparición de organismos no presentes, ni siquiera en forma potencial, cuando los procesos de cambio se iniciaron (véase *infra*).

También parece implicar que en biología estos factores de azar son la base creativa de juicios de valor que hacemos sobre conceptos tales como "desarrollo" o "progreso". Aunque una discusión como ésta nos lleva rápidamente hacia áreas filosóficas de intensa controversia, para no hablar de las modas cambiantes, sería difícil argumentar que el hombre no es, en alguna forma crítica, un adelanto sobre sus antecesores monos, o que el pollo no es una mejoría respecto al huevo. Lo que es más, estos juicios parecen surgir del sistema biológico mismo más que de cualquier noción externa derivada de la ética. Si es así, quizás implican el conocimiento de una interpretación más positiva del significado de las casualidades o acontecimientos casuales en sistemas vivientes que la que se encuentra en el mundo subatómico de los físicos. En el primer caso el azar parece ser la fuente de una organización "mejorada" y más compleja, en el segundo la perturbación de un sistema por lo demás determinado con precisión (véase capítulo 7).

El todo organizado

A pesar de las interpretaciones contrastantes, estos desarrollos en la física y la biología llevaron por caminos separados a otro movimiento en la ciencia moderna de inmenso interés e importancia. Se trata del estudio de la organización *per se*. Es quizás extraño que la investigación de las propiedades fundamentales de la materia pudieran haber ayudado a estimularlo, pero así sucedió en dos formas. Una fue por medio de las revaluaciones de nuestra comprensión del núcleo atómico, al que ahora se considera no un cuerpo compuesto de partículas elementales unidas entre sí por fuerzas de atracción —siendo partículas y fuerzas unidades separadas— sino más bien como si esas partículas y fuerzas fueran aspectos diferentes y complementarios de la misma cosa, apareciendo como separados sólo cuando la organización esencial del núcleo entero se ha desintegrado. La otra contribución de la física fundamental fue el impacto de la mecánica cuántica sobre la separación tradicional entre lo que está siendo observado y el que está haciendo la observación. Si es imposible hacer observaciones en este nivel sin perturbar los objetos de esa actividad, entonces lo que de hecho estamos estudiando es la organización constituida por los dos componentes. Hemos vuel-

to, de hecho, a la famosa máxima del filósofo griego Parménides (540 a.C.): "El Todo es Uno."

En el nivel de la biología el concepto de "unidad" o la organización del todo es muy familiar en estudios como los de la embriología. Pero se aplica mucho más ampliamente porque incluye, como ciertamente lo hace, la idea fundamental de la interrelación de las partes componentes, tal como se observa en el funcionamiento normal del cuerpo animal. La estabilidad resultante de la interrelación en los sistemas fisiológicos se denomina homeostasis. Un ejemplo simple lo sería el mecanismo de control que regula la temperatura corporal de un hombre, que ha sido descrito en años recientes en términos derivados, por analogía, de los sistemas de ingeniería. Aquí encontramos expresiones como "punto de equilibrio" (*set point*), "termostato" y "retroalimentación negativa", por las que se comparan los componentes del cuerpo con componentes mecánicos o electrónicos del sistema de control de ingeniería. El rasgo esencial es que la estabilidad deseada se alcanza por medio del trabajo de las diferentes partes actuando como un todo organizado. Durante el ejercicio, cuando los músculos producen más calor que el normal y elevan la temperatura del cuerpo, esta información es llevada al cerebro a través de la corriente sanguínea, de manera que la temperatura del termostato dé un registro más alto que el del punto de equilibrio. El "error de carga" resultante asegura que la información apropiada sea ahora transmitida a los *mecanismos efectores* que organizan el relajamiento de los vasos sanguíneos periféricos y el sudor. Cuando estos mecanismos han disipado el exceso de calor y la temperatura ha vuelto a la normalidad, se cierran y todo el sistema retorna a su estado de reposo.

Este ejemplo muestra que la organización, en cualquier nivel —desde el de las partículas subatómicas hasta el de las sociedades humanas—, involucra más que una relación casual entre las partes constitutivas del sistema. Implica que se mantiene un estado estable "preferido" en contra de influencias internas o externas que tiendan a perturbar la estabilidad. Así, la organización opera de manera autoprotectora como si fuera un *todo* complejo, mostrando propiedades que son cualitativamente diferentes de las de sus componentes individuales.

Teleología

El sistema homeostático que mantiene una temperatura corporal constante también nos ofrece un modelo en torno al cual podemos discutir brevemente el problema de la teleología, el cual ha sido de interés para la biología durante siglos. Como ya hemos visto, las for-

mas teleológicas de expresión se refieren característicamente a los fines a los que supuestamente tienden las cosas y no tanto, como en las formas causales, a los acontecimientos originales que las provocaron. Aunque el concepto aristotélico original ha sido abandonado desde hace mucho, los sistemas biológicos a menudo parecen teleológicos y los biólogos hablan habitualmente en términos teleológicos. La pregunta que por lo tanto debe hacerse es en qué medida los fenómenos de biología son cualitativamente diferentes de los de las ciencias físicas hasta el punto de que necesitan modos de expresión diferentes. Un ejemplo simple nos esclarecerá el problema. A partir del conocimiento de las leyes de los gases, un físico podría afirmar que elevar la temperatura de un gas causa un aumento de su volumen. En forma similar, un fisiólogo podría decir que el aumento de la temperatura de un perro hace que aumente su respiración. Sin embargo, aunque el fisiólogo podría concluir que la función del aumento de la respiración (jadeo) es oponerse a la elevación de la temperatura (es decir mantener constante la temperatura del cuerpo), es poco probable que el físico diga que el mantenimiento del equilibrio térmico era también la "función" del aumento en el volumen del gas.

En qué condiciones es justificable el uso de las formas teleológicas es una cuestión que no tiene respuestas sencillas y no necesita preocuparnos en ninguna forma. Muchos filósofos de la ciencia prefieren hacer la declaración "B es una función de A" como "A es la causa de B", y ciertamente ninguno sugeriría ahora (como lo hizo Aristóteles) que el lenguaje teleológico sería el apropiado para describir la forma de actuación del sistema solar. Sin embargo, en el caso de los organismos vivientes, la terminología teleológica parece ser para nosotros el futuro previsible. Y entre estos dos extremos hay áreas grises inevitables.

Un aspecto de este difícil tema se ilustra con nuestro ejemplo del sistema de control de la temperatura, porque la mayoría de los rasgos esenciales del sistema fisiológico pueden ser reproducidos con una analogía física simple, digamos el sistema que controla la temperatura en una habitación. En este sistema se encuentran dos de las características más básicas usadas tradicionalmente para distinguir la organización teleológica de la no-teleológica: las del "estado preferido" y de la "retroalimentación negativa". Sin embargo, el sistema que controla la temperatura de una habitación ha sido "diseñado" y es en su totalidad no-viviente. Su estado preferido es la temperatura a la que ha sido fijado el termostato y es tarea del sistema como un todo mantener esta temperatura en la habitación. Esto se logra (figura 4) teniendo disponibilidad de *mecanismos efectores* (análogos al escalofrío y a la sudoración) para calentar o enfriar el aire de la habitación según la dirección en la que fluctúe su

temperatura a partir del estado preferido. La retroalimentación en este sistema podría ser la temperatura de la habitación que prevalece en cualquier momento, a la que el termostato compara con la temperatura preferida; se le llama retroalimentación negativa porque una desviación del estado preferido desata los mecanismos que tienden a oponerse a la desviación.

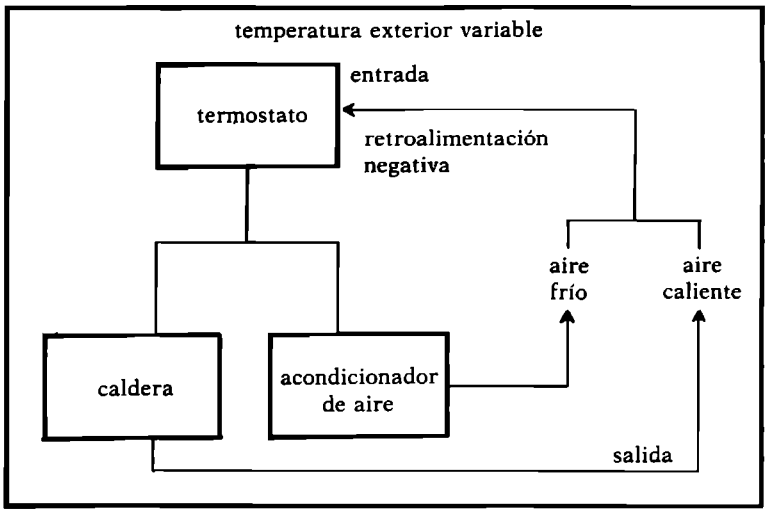


FIGURA 4
El control de temperatura de una habitación: el diagrama ilustra los principios del estado preferido y de la retroalimentación negativa

En términos simples, parece que nuestra habilidad para obtener analogías medianamente próximas entre sistemas de control fisiológico y físico, le quita una buena parte de misterio al concepto de la organización teleológica, y satisface a la mayoría de la gente con la afirmación de que los sistemas de "búsqueda de finalidad" no tienen necesariamente que referirse a unidades vivientes.

Reduccionismo y emergencia

Nuestra discusión sobre organización y teleología nos conduce ahora a considerar los problemas más amplios del reduccionismo. Los procesos vitales nuevamente toman aquí una posición central porque provocan la pregunta sobre la naturaleza de sus diferencias con los procesos no vivientes. ¿Qué queremos decir cuando hablamos de que los organismos vivientes difieren de los objetos inanimados

por tener diferentes tipos o niveles de organización? ¿Pueden los procesos vitales ser "reducidos" a procesos físico-químicos sin perder los rasgos esenciales que los hacen vivientes? ¿Tiene alguna forma de apoyo la idea de la operación de algún principio vitalista que hace de los sistemas vivientes algo único?

Para empezar, debemos decir en relación con todas estas preguntas que la discusión central, ya sea bajo la forma tradicional de "vitalista contra mecanicista" o en la forma moderna de "organización contra reducción", no ha sido, y probablemente no pueda ser, resuelta exclusivamente en términos de la evidencia empírica respecto del mundo. Antes de que examinemos los aspectos esenciales mínimos, todo lo que es necesario decir sobre la voluminosa literatura respecto a este tema es que mientras la posición inicial adoptada por los protagonistas era clara y simple, la situación actual es de enorme complicación. El resultado de esto parece ser que, mientras que lo apasionado del debate posiblemente no haya disminuido, los dos bandos están ahora significativamente más cercanos uno al otro de lo que estuvieron en el pasado, situación de la que dan fe amplia las intrincadas sutilezas convertidas en rasgos necesarios de los argumentos.

El problema del reduccionismo en biología surge del hecho histórico de que las ciencias de la física y de la química proporcionaron a las ciencias vitales, en su infancia, una base firme a partir de la cual podrían desarrollarse. Pero ¿qué tanto se podría confiar en esta base? René Descartes, el llamado padre de la filosofía moderna, es considerado generalmente como el primero que planteó la particularmente rígida distinción entre *mente* y *materia* que ha caracterizado o complicado el pensamiento occidental desde entonces. Ya que el cuerpo del hombre era considerado del mundo material, tenía que ser explicado en términos reduccionistas de entidades materiales y de principios mecanicistas. El mundo subjetivo de la mente era, sin embargo, algo al mismo tiempo diferente. La propia doctrina de Descartes sobre la mente era de hecho un tanto confusa pero, hablando en general, el cuerpo y la mente se consideraban por completo independientes, no actuando como tales sino procediendo, digamos, en paralelo. Aunque el punto de vista de Descartes estaba sujeto a diversas interpretaciones, los primeros vitalistas llegaron a creer que las propiedades de los sistemas vivientes podrían explicarse únicamente por la operación de algún agente no-material por encima de las propiedades del cuerpo físico.

En estos términos el debate era suficientemente claro, y se desató violentamente durante todo el siglo XIX. Los comienzos de una reconciliación o de un oscurecimiento de los problemas opuestos se manifestaron en los primeros años del presente siglo con los orígenes de la física moderna. La declaración vitalista de que los pro-

cesos de vida difieren en esencia de los mecanismos del mundo material implica que actualmente entendemos qué son los materiales y los mecanismos. Esto estaba muy bien en el mundo determinista de los átomos en forma de bola de billar, pero en la era de la relatividad y de la mecánica cuántica la idea de una relación mecanicista del mundo se convirtió para muchos científicos en algo mucho menos plausible. De esto resultó que se vio menos claramente sobre qué bases podrían debatir vitalistas y mecanicistas.

Uno de los pensadores dominantes de este periodo, y uno de los fundadores de nuestro interés actual en las propiedades de relación y de organización fue el matemático y filósofo A.N. Whitehead (1861-1947). Whitehead intentó resolver el problema vitalismo-mecanicismo desarrollando la llamada doctrina de emergencia, originalmente enunciada por C. Lloyd Morgan (1852-1936). El análisis de Morgan no partió de nuestra comprensión de los constituyentes últimos del mundo físico, sino de la evidencia del mundo derivada de la observación directa de éste. Esto es, no pasamos del conocimiento de las entidades básicas del mundo al de cómo explican éstas las propiedades de los organismos vivientes, sino más bien de los fenómenos observables a nuestras ideas intelectuales sobre el origen de la materia. Nuestro conocimiento de estas entidades básicas es necesariamente imperfecto y misterioso porque sólo podemos conocer aquellas propiedades que están manifiestas en los fenómenos en que participan, y que podemos observar. Así no debiéramos esperar, por así decirlo, reconocer en átomos aislados de oxígeno e hidrógeno las propiedades particulares que les permiten, en combinaciones apropiadas, formar el agua; pero cuando las propiedades del agua realmente "surgen" de esta combinación, en verdad hemos observado algo nuevo sobre los átomos, algo que podemos aprender sólo cuando éstos se han *organizado* en tal forma particular.

Así ocurre con la vida. Cuando reconocemos que los átomos de oxígeno, carbono, nitrógeno, etc. organizados en una forma particular, manifiestan las propiedades asociadas con los sistemas vivientes, no precisamos volver a la idea de que es necesario añadir una fuerza vital, como tampoco lo haríamos para explicar la aparición del magnetismo en una barra de hierro, o en la eficacia de un sintonizador de radio para proporcionarnos las sonatas para piano de Beethoven desde el Wigmore Hall. Lo que en verdad necesitamos entender es que estas propiedades impresionantes surgen de ciertas organizaciones de sistemas materiales; en ausencia de estas organizaciones, las propiedades dejan de manifestarse. En estos términos, la vida misma pierde mucho de su misterio (al menos en sentido filosófico), de modo que explicar la aparición en la evolución de los organismos a partir de materiales inanimados, o su desaparición a la muerte del cuerpo, deja de ser un problema.

Finalmente, ¿qué puede obtenerse del problema mismo de la relación mente-cerebro, ese enigma que ha desvelado a los mayores pensadores a través de la historia? Siempre han existido aquellos que creen que todos los fenómenos materiales, incluyendo los de los cuerpos vivos, pueden en principio ser comprendidos en términos de física y química, pero que sin embargo han insistido en que los fenómenos subjetivos son de tipo diferente. Existen todavía algunos eminentes defensores de esta opinión, entre ellos algunos filósofos y científicos, quienes señalan que a pesar del considerable cúmulo de conocimiento ahora disponible acerca de funciones cerebrales que pueden medirse, funciones inequívocamente relacionadas con los fenómenos mentales, no estamos próximos a cerrar el abismo que haya entre un acontecimiento como una descarga eléctrica y nuestro conocimiento subjetivo de un pensamiento abstracto o de una emoción en la mente. Decir que son *idénticos* es dar por admitida la cuestión, y en todo caso es bien sabido por los trabajos de los psicoanalistas y de otros que una buena cantidad de actividad *mental* actúa en el cerebro sin que nos demos cuenta de ello. La experiencia subjetiva (esto es, consciente) no tiene una correlación inevitable con los procesos nerviosos, ni aun con algunos procesos que podríamos considerar como pensados si alcanzaron el nivel de lo consciente. Más bien, parece que la conciencia podría ser algo único.

Aunque aquí no podemos ocuparnos de algunos problemas filosóficos mayores surgidos de estos hallazgos, el fenómeno de la conciencia *de sí* tiene especial importancia en relación con lo que se ha dicho antes sobre la organización. Si la conciencia de sí existe en el hombre, y si creemos en la evolución, ¿de dónde viene el desarrollo de este fenómeno? ¿Es posible explicar el problema de la *mente* en la misma forma en que hemos explicado el del magnetismo y el de la vida, esto es, como una propiedad que surge de ciertos tipos de organización en los sistemas materiales? No es difícil de comprender la idea de que algo de la misma índole cualitativa de la conciencia de sí puede ocurrir en las formas de vida subhumanas, pero la implicación lógica de esta forma de pensar derivaría en que un fenómeno análogo puede ocurrir también en organizaciones inanimadas y finalmente hasta en los átomos mismos. Esto puede parecer ininteligible para muchos, no así para algunos pensadores con autoridad, entre ellos el mismo Whitehead, el biólogo J.B.S. Haldane (1892-1964) y el paleontólogo y sacerdote jesuita Pierre Teilhard de Chardin (1881-1955) (véase también el capítulo 8).

Otro punto de vista agudamente contrastante del problema mente-cerebro, que mencionaremos brevemente, es la teoría reduccionista conocida como conductismo. Esta escuela de la psicología intenta describir los fenómenos de la *persona* en términos de los fenómenos de la conducta del cuerpo. Los fundamentos son que mien-

tras los eventos mentales específicos no son negados como tales, deben excluirse del campo de la investigación científica sobre la base de que no están disponibles como *conocimiento público* para que cualquiera los escudriñe. La atención debe dirigirse a las formas de conducta evidentes, las cuales son consideradas ya sea como expresiones públicas de fenómenos psicológicos, o en alguna forma como equivalentes reales de éstos. De cualquier modo, se asegura, los términos usados convencionalmente en la psicología para describir los estados mentales y sus procesos, deben entenderse como maneras de describir las formas asociadas de conducta en situaciones dadas. Así, las personas de quienes se dice que son listas, estúpidas, buenas, deshonestas, etc., pueden observarse actuando o tendiendo a actuar en forma que debemos considerar como características de los adjetivos respectivos. Otras experiencias "dentro de la mente" pueden, se argumenta, ser consideradas de manera parecida, en tal forma que la idea misma de la *mente* se vuelve redundante para los propósitos de la psicología. Según este punto de vista, buscar entender cómo influyen los eventos mentales en la conducta del cuerpo es tan importante como preguntarse en qué medida la seguridad de un automóvil afecta su funcionamiento mecánico.

La posición conductista está abierta a un importante número de objeciones bastante diferentes de la incomprensión o repugnancia que engendra en algunas personas. Por ejemplo, no hay que pensar mucho para darnos cuenta de que estamos forzados a emplear términos psicológicos tradicionales, así como también términos conductistas, para poder determinar si el comportamiento de una persona es, digamos, estúpido o deshonesto; necesitamos también saber, entre otras cosas, algo sobre su actitud mental, sobre sus creencias, sus deseos, etcétera.

Finalmente, quizás valga la pena añadir que ni el enorme interés en la "totalidad" organizativa ni en las relaciones reduccionistas han provocado una unificación general de la ciencia misma. Ésta no puede sencillamente considerarse como *una*, simplemente porque sus variadas disciplinas tratan de las propiedades *que surgen* de organizaciones distintas. Es cierto que ha habido heroicos intentos hacia el reduccionismo entre las divisiones mayores de la ciencia, como también dentro de ellas mismas; sin embargo, los éxitos han sido pocos, mientras que el esfuerzo ha sido inmenso. Un famoso ejemplo reciente ha sido el intento de reducir la genética tradicional mendeliana a genética molecular, que es un tipo especializado de la bioquímica de los ácidos nucleicos. Este enfoque recibió una buena dosis de apoyo en las áreas limitadas en las que se consideró posible, sin embargo, dejó intacto mucho más del objeto original que podía redefinir, incluyendo la evolución misma, que parecía incapaz de semejante redefinición. Claro está que siempre será posible argumen-

tar que en algún momento futuro, cuando nuestro conocimiento general sea mayor que el actual, surgirá una ciencia realmente unificada, pero para el futuro previsible parece que el estudio de los sistemas organizados ha estimulado una apreciación de las diferentes técnicas y de los procesos intelectuales apropiados para los diferentes niveles de complejidad. Es probable que el sistema de partículas del físico siga siendo de órdenes de magnitud más simples que los del biólogo molecular, mientras que los temas del sociólogo parecen ser tan complejos como para desafiar a menudo nuestra comprensión.

LAS CIENCIAS SOCIALES

Los problemas que surgen en las ciencias biológicas por la teleología y el reduccionismo nos conducen a los fenómenos admitidamente "deliberados" estudiados por las ciencias sociales. Existe un debate apasionado en el intento de reducir las proposiciones de la sociología a las de la psicología, pero los argumentos muy a menudo aparecen como motivados predominantemente por la amenaza de la identidad profesional. Sin duda existen biólogos que desearían reducir estas reacciones de amenaza a simples imperativos biológicos, sin embargo, este tipo de controversia es trivial en comparación con las cuestiones fundamentales genuinas consideradas más arriba y que seguiremos considerando.

Las implicaciones reduccionistas de la nueva interdisciplina llamada *sociobiología* se consideran como una excepción. Sus defensores predicen que el impacto de la biología en las ciencias sociales y en las humanas será a la larga tan revolucionario como el de la química y la física en la biología. La sugerencia de que la ciencia social será algún día considerada una rama, por así decirlo, de la biología, contradice llanamente el juicio prevaleciente que postula que la vida social humana es casi por completo producto de influencias culturales, mostrando poca o ninguna evidencia de determinismo genético. Pero éste es un debate de gran amplitud y al parecer insoluble, y para nuestros propósitos actuales será suficiente anotar que la concepción de la biología como la clave para entender el comportamiento humano es la más reciente contribución al problema naturaleza-educación que nos ha asolado, sin resolverse, durante muchos siglos.

Consideraremos ahora un asunto que, entre algunos científicos naturalistas, es juzgado sólo ligeramente menos polémico que el anterior, pero el cual, comparado con nuestros anteriores comentarios concernientes a la naturaleza del conocimiento científico, puede plan-

tear pocos problemas serios. Se trata del problema de si es posible, después de todo, atacar los fenómenos sociales y humanos por medio del *método científico*. (Es importante que aquí disociemos claramente *métodos* y *técnicas* en el contexto de la ciencia. Por *método científico* se quiere significar una versión identificable de los en cierta forma elusivos procedimientos descritos, por ejemplo, en los capítulos 1 y 3. Las *técnicas científicas*, por otra parte, son formas particulares para realizar el método científico —por medios como encuestas, mediciones, experimentos controlados, etc.— los cuales varían ampliamente de acuerdo con cada ciencia particular.)

¿No es éste entonces el caso en que la total complejidad de la vida humana predestina al fracaso cualquier intento de ser genuinamente científico?

La complejidad del tema es ya indudablemente un problema, porque cuando hay muchos fenómenos interrelacionados es difícil establecer una secuencia causal clara. En su forma extrema, esta opinión nos dice que la vida humana es tan rica y sutil que cualquier acontecimiento social es único; cualquier creencia como ésta, sostenida con sinceridad, sería incompatible con la investigación científica (véase el principio del capítulo 1). Sin embargo, ¿es posible sostener esta opinión, o al menos puede demostrarse que la complejidad es únicamente problema de las ciencias sociales? No hay duda de que las ciencias biológicas comparten muchas dificultades semejantes, especialmente en ramas como la etología y la ecología, que estudian el comportamiento de los organismos en condiciones naturales y seminaturales. Aun en las ciencias físicas hay también enorme complejidad, y la respuesta a ella ha sido siempre acumular conocimiento sobre los fenómenos más simples, con la esperanza de que ocasionalmente lleguen a dar luz sobre los más complejos.

Algunas variedades de este proceso de simplificación parecen ser aplicables en todo el espectro de las ciencias, y el enfoque ideal es indudablemente aquel que pretende la simplificación mediante experimentos artificiales controlados. Sin embargo, los experimentos no son siempre posibles y es aquí interesante recordar que el dominio de la astronomía en el siglo XVII no era ciertamente el resultado de que se pudiesen manipular experimentalmente los cuerpos celestes. En forma similar, muchas ciencias naturales de prestigio, como la geología o la biología evolutiva, tienen poco campo para la experimentación, y sin embargo no han dejado de establecer extensos bloques de conocimiento, con leyes y teorías generales bien fundamentadas. Por lo tanto, las áreas de investigación social humana en las que son raras las oportunidades para experimentos controlados, no pueden descartarse de las filas de la ciencia basándose únicamente en esto. En cualquiera de los casos, hay algunas áreas, en especial la psicología social, en donde se ejecutan rutinariamente

experimentos que no pueden diferenciarse de los de las ciencias naturales, en tanto que los economistas hacen amplio uso de modelos idealizados que pueden analizarse matemáticamente en casi la misma forma que en física o fisiología. Finalmente, las *investigaciones de campo*, en muchas de las ciencias sociales, no difieren en forma significativa de aquellas que se hacen, digamos, en la botánica o la entomología.

Otras de las dificultades que se invocan para la ciencia social se refieren a la generalización. Mientras que una ley típica en física o en química se considera normalmente como de aplicación universal, en el sentido de ser independiente del espacio y del tiempo, los hechos humanos tienden a ser influidos significativamente por factores culturales o históricos. Es poco probable así que las normas de comportamiento sean válidas entre sociedades diferentes o dentro de una misma sociedad en tiempos diferentes. Esto quiere decir que las teorías sociales, aunque a menudo poseen un poder explicativo considerable, nunca proporcionan suficiente base para hacer predicciones acertadas del futuro. Esta deficiencia puede parecernos una desventaja paralizante si en este momento hiciéramos la comparación con la astronomía de posición, pero una breve reflexión nos muestra de inmediato que la astronomía es más bien la excepción y no la regla, aun entre las ciencias físicas. La predicción exacta de estados futuros es posible, aun por medio de las famosas leyes físicas, únicamente dentro de ciertas condiciones artificialmente idealizadas (por ejemplo, en un vacío "perfecto", o en una rigidez "perfecta" dada) que son análogas a las idealizadas fuerzas de mercado aplicadas a las ecuaciones de los economistas. Con las ciencias menos exactas, como la meteorología, la predicción es notoriamente arriesgada, mientras que con los sistemas vivientes (sin mencionar a la física subatómica) nunca nos referimos a otra cosa que a meras probabilidades.

Un problema muy amplio y genuino para la ciencia social es aquel que concierne a la llamada relatividad de las leyes sobre las sociedades humanas. ¿Puede ser totalmente objetivo y libre de valores el estudio de los fenómenos humanos? Por ejemplo, en psicología y en medicina social a menudo se discute si podemos investigar o experimentar en individuos y seguir conservando nuestro respeto por ellos como seres humanos. Igualmente, hay algunos tipos de fenómenos que son difíciles de estudiar porque las mediciones necesarias pueden ser peligrosas o inaceptables, o bien es posible que los datos deban manejarse confidencialmente. En realidad, es la misma proximidad de esas ciencias con los urgentes asuntos personales de la vida diaria la que puede revelar los valores y prejuicios del científico mismo en términos de su decisión sobre lo que debe estudiarse en primer lugar. Si su decisión se basa ampliamente en razo-

nes externas a la ciencia misma (como, digamos, en el caso de un deseo de "probar" un punto a discusión) más que en otras ampliamente reconocidas como intracientíficas, es menos probable que la investigación misma satisfaga los estándares normales de imparcialidad científica.

En donde intervienen las cuestiones de juicio moral (como por ejemplo en el estudio de prejuicios raciales o de conducta sexual) la situación es particularmente delicada y obviamente muy diferente de aquella en donde un químico o un fisiólogo selecciona un problema que, para él, despierta una curiosidad intelectual especial. En el contexto social hay un riesgo mucho más grave de que los valores personales puedan prejuiciar la recolección de evidencias por su influencia para decidir lo que debe ser considerado como información de hechos, y después inmiscuyéndose en la discusión y en la interpretación de los hallazgos obtenidos. Es difícil para el científico social lograr un desapego genuino sobre asuntos humanos delicados, aún más si (lo que no es en ninguna forma extraordinario) su intuición como lego parece proporcionarle una visión más profunda y más directa que su metodología formalizada. Desafortunadamente, nuestros juicios de sentido común son frecuentemente engañosos, y justamente el problema es tan irresoluble porque refleja actitudes sobre asuntos mucho más amplios que los estrictamente pertinentes al área de investigación social dada. Claro está que también en las ciencias naturales hay muchas áreas de controversia, y siempre hay algunas que generan un desacuerdo apasionado, sin embargo, la tensión resultante es a menudo creativa y de ella pueden surgir soluciones genuinas. Esto es simplemente porque los debates científicos naturales conciernen en forma típica a la interpretación de datos exclusivamente intracientíficos, mientras que los de las ciencias sociales invariablemente se refieren a puntos de vista más generales.

En algunos contextos este problema puede parecer tan insoluble que ocasionalmente se recomienda que los científicos sociales abandonen su intento de lograr análisis libres de valores y mejor especifiquen sus propias actitudes tan amplia y honestamente como les sea posible, de manera que sean otros los que con total independencia puedan evaluar su importancia. En muchas formas es éste un objetivo laudable, pero en vista de que generalmente sería imposible saber si ha sido logrado, una ciencia social completamente libre de valores puede ser inalcanzable. Una respuesta polémica que aparece al darse cuenta de esto, ha sido siempre argumentar que una ciencia social de este tipo es en todo caso indeseable; los fenómenos sociales deben siempre tener esencialmente un aspecto "subjetivo" o "impregnado de valor", dada la naturaleza deliberada de los actos humanos. Según esta opinión, el intento de excluir interpreta-

ciones subjetivas inevitablemente elimina también todo hecho social genuino. Consecuentemente las llamadas técnicas de investigación "no objetivas" deben desarrollarse para incluir particularmente la buena voluntad y la habilidad del científico social para proyectarse a sí mismo empáticamente con el fenómeno que está estudiando. Únicamente esto lo conducirá a hipótesis que contengan un auténtico poder de explicación.

Otro problema que encara el científico social es que el conocimiento de los fenómenos sociales es en sí mismo una variable social. Esto significa simplemente que los sujetos humanos de experimentación o investigación probablemente se comporten anormalmente si están conscientes de lo que les está ocurriendo. Por ejemplo, la gente puede responder a las preguntas de una encuesta en términos de lo que creen que se espera de ellos, más que lo que realmente creen o hacen, o es posible que proporcionen información falsa debido a algún deseo de oscurecer los resultados. Aún más, la gente tiene tendencia a creer que "sabe" sobre las tendencias y actitudes sociales, en forma tal que, aun tras un análisis exhaustivo de algún fenómeno social por parte de los científicos, continúan dudando o rechazando las conclusiones que son contrarias a las suyas. Esta situación puede considerarse como muy rara en lo que respecta a las ciencias físicas, aunque ocurre ocasionalmente en biología, y particularmente, claro está, en aquellas ramas aplicadas como la medicina, que está más próxima a inquietudes humanas inmediatas.

Las reacciones humanas al conocimiento de los fenómenos sociales afecta tanto las predicciones como las explicaciones. Esto ha sido ilustrado en época reciente en relación con el intento de predecir el resultado de elecciones. Si la predicción tiene o no influencia en la forma de votar de la gente, puede ser o bien animándolos a actuar de acuerdo con ella (el "efecto del ganador" [*band-wagon effect*]), o bien en desacuerdo (el "efecto del perdedor" [*under-dog effect*]). Si el científico social intenta tener en cuenta estos efectos, puede confiar en tener éxito únicamente cuando son iguales. Si hace sólo predicciones condicionales que no tengan en cuenta las reacciones para la predicción, las condiciones iniciales no se cumplirán. Esto es, una vez que intenta influir en el resultado de una predicción, no puede ya probar su confiabilidad.

Finalmente, si nos hacemos la pregunta: ¿es realmente posible la *ciencia* social?, debemos formular nuestra respuesta en forma de reconocer por completo los problemas en los que no hay duda, pero al mismo tiempo reconocer los objetivos de la empresa total. La naturaleza humana presenta realmente algunas dificultades formidables para cualquiera que intente explicarlas, ya no digamos predecirlas. Sin embargo, tanto la explicación como la predicción se cuentan entre los objetivos legítimos de la ciencia social, al igual

que lo son para la ciencia natural, y está más allá de toda discusión que ya existe un bloque sustancial de literatura que abarca, en términos generales, todos los criterios normales del conocimiento científico. Aunque todavía quedan demasiados ejemplos de literatura científica social pomposa, vaga y ambigua —en la que la comprensión lograda y transmitida puede no ser más profunda y confiable que la de los juicios tradicionales de sentido común propios de la sabiduría popular—, debe decirse que esa falta de claridad es, sin lugar a duda, el monopolio de los científicos sociales. Hay mucho de cierto cuando se dice que las áreas de vaguedad (más en los datos que en el estilo de la literatura) siempre presentarán dificultades especiales para los científicos sociales, pero teniendo en cuenta esto, parece razonable esperar que las áreas problemáticas continuarán exigiendo análisis responsables, y que como resultado de ello podemos esperar una expansión continua del conocimiento auténtico.

SEGUNDA PARTE

INTERACCIONES DE CIENCIA Y SOCIEDAD

6. ESTUDIOS SOCIALES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

El propósito del presente capítulo es examinar la ciencia como una institución del mundo moderno. Esto significa que debemos aplicar el método científico a la ciencia en la misma forma, por ejemplo, que un biólogo podría describir y analizar un organismo, es decir identificando sus características sobresalientes, las condiciones del medio ambiente que favorecen su crecimiento, y los patrones de comportamiento por los que puede predecirse su desarrollo futuro. En las primeras secciones del capítulo nos referiremos por lo tanto a los elementos de la ciencia que pueden ser "medidos"; los rasgos que se dice dan a la empresa científica su cohesión interna; y los procesos por los que crece el conocimiento científico. (Una relación del enfoque marxista de la ciencia se ofrece en el capítulo 8.) En los últimos apartados del capítulo se describe una nueva escuela dinámica de sociología de la ciencia que originalmente surgió de una investigación de sus relaciones con la tecnología, y también se consideran asuntos de enorme importancia práctica en el mundo moderno: las aplicaciones industriales y militares de la ciencia y su impacto consecuente en periodos económicos

ASPECTOS CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DE LA CIENCIA

Cualquier intento de una "ciencia de la ciencia" tenderá a destacar aspectos que pueden ser analizados y medidos objetivamente. Los tipos de parámetro tomados como medida de la ciencia pueden incluir la cantidad de personas que la practica, la suma de dinero gastada en ella, o la cantidad de "conocimiento" que produce. Podría esperarse que cualquiera de estos datos ofreciera una idea de cómo creció la ciencia en el pasado y, quizá por extrapolación, cómo puede esperarse que crezca en el futuro. Es por lo tanto probable que se consideren importantes para aquellos a quienes concierne la política de la ciencia.

Crecimiento exponencial

El trabajo de mayor influencia de este tipo ha sido el de Derek de Solla Price, iniciado en la década de los cincuenta y recopilado en

su ampliamente citado libro *Little science, big science* (1963). La primera así llamada "ley" que surgió de los estudios de Price fue que el crecimiento de la ciencia ha sido exponencial (figura 5).

Nuestro punto de partida será la evidencia empírica estadística obtenida de muchos indicadores numéricos de los diferentes campos y aspectos de la ciencia. Todos éstos muestran con impresionante congruencia y regularidad que si cualquier segmento de la ciencia suficientemente amplio es medido en una forma razonable, la que sea, el modo normal de crecimiento es exponencial. Eso quiere decir que la ciencia crece a interés compuesto, multiplicándose por una cantidad fija en iguales periodos.

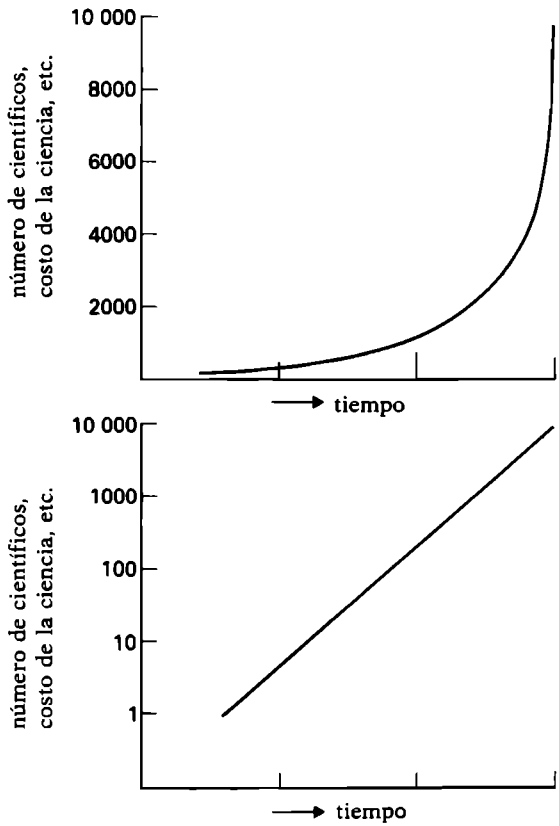


FIGURA 5
Crecimiento exponencial, trazado linealmente y en forma semilogarítmica.

Debe subrayarse que un crecimiento de este tipo no es de ningún modo propio de la ciencia; sin embargo, sí *es* lo que podría esperarse, porque es una característica común de multitud de fenómenos, incluyendo los inorgánicos (por ejemplo, la velocidad de una reacción química ante la elevación de la temperatura), los biológicos (cantidades de bacterias de moscas de la fruta o de gente en una población reproduciéndose libremente) y la social (productos internos brutos de las naciones).

Lo que es de especial importancia respecto al crecimiento exponencial de la ciencia, es el corto plazo que se requiere para duplicar la cantidad cuando ésta se mide en cualquier forma razonable. Por ejemplo, mientras que el tiempo de duplicación de la población mundial ha sido aproximadamente de 50 años, y el producto nacional bruto de un país ha sido típicamente de alrededor de 20, las publicaciones científicas o las membrecías de instituciones científicas se han duplicado en periodos de casi 15 años. Price examinó las revistas científicas con particular detalle. Desde la primera aparición del *Philosophical transactions of the Royal Society* en 1665, el número de publicaciones se ajusta a la curva exponencial casi exactamente (figura 6). Con un periodo de duplicación de 15 años, el número de duplicaciones ha crecido con un factor de 100 cada siglo, de manera que por cada periódico publicado en 1665, había un orden de 100 en 1765, 10 000 en 1865 y 1 000 000 en 1965 (pero véase la siguiente sección).

Durante cada intervalo de 15 años aparecerán de nuevo tantos científicos como los que hubo en todo el periodo precedente de crecimiento. Aún más, ya que el científico *típico* tiene una vida de trabajo equivalente a tres de estos periodos de duplicación (45 años), siete científicos vivirán (1 + 2 + 4) al final de su carrera por cada ocho que hayan vivido (esto es, el 87.5%). Price llama a este fenómeno el *coeficiente de inmediación* de la ciencia; aun si el periodo de duplicación variara de 15 a, digamos, 10 años, o bien a 20, el coeficiente de inmediación podría variar solamente de 96 a 81% respectivamente. Es por lo tanto este corto periodo de duplicación lo que proporciona a la ciencia su voraz crecimiento; en comparación con la población humana, podemos decir que mientras que la gran mayoría de los científicos que han vivido en el periodo anterior siguen vivos, la mayoría de la gente que ha vivido su periodo (50 años) ya ha muerto.

Hablando en forma general, el crecimiento de la ciencia ha sobrepasado completamente el de la población; cada duplicación de esta última ha ido acompañada de aproximadamente tres duplicaciones de la primera. Sin embargo, en este punto son necesarias dos advertencias preparatorias. La primera es que la inmediación de la ciencia moderna no es nada nueva. Es meramente el resultado de 300

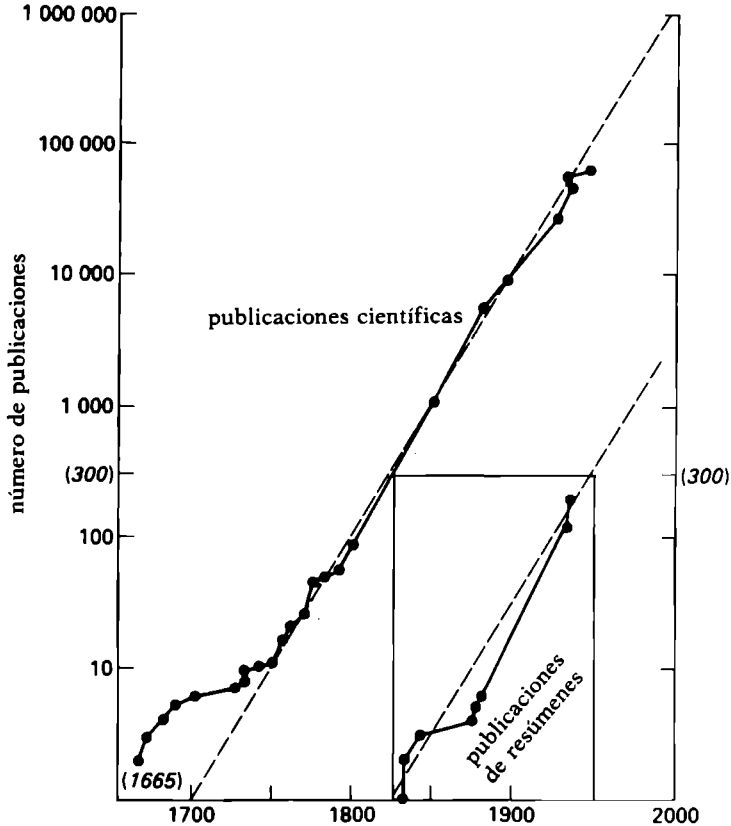


FIGURA 6
El crecimiento exponencial de publicaciones científicas desde el siglo XVII.

años de crecimiento exponencial. Como lo expresa Price: "La ciencia siempre ha sido moderna: siempre ha sido explosiva para la población [...] Los científicos siempre se han sentido flotando en un mar de literatura científica." Al comparar esto con la historia de otras actividades humanas, como la política o la guerra, esto debe tomarse como sugerencia de que la historia de la ciencia debe concentrarse en el trabajo de la generación previa, una situación que sin embargo está muy lejos de ser el caso. Algunas de las razones para la enorme importancia que se atribuye al estudio del siglo XVII son probablemente claras para el lector que nos haya seguido hasta aquí.

La segunda advertencia preparatoria concierne a la generalidad

de la *ley* del crecimiento exponencial. Aun suponiendo que podemos superar satisfactoriamente problemas tales como decidir *quién* debe ser considerado científico, o *qué* debe calificarse como publicación científica, debe reconocerse que el enfoque estadístico pronto se viene abajo cuando se aborda cualquier cosa significativamente menor que una perspectiva "global". Se sabe, por ejemplo, que ha habido tasas de crecimiento muy diferentes entre distintas ramas de la geología y de la física. También es cierto que el crecimiento de la ciencia como un todo ha variado enormemente en diferentes países, en donde han influido factores históricos especiales. Si la producción de publicaciones científicas se toma como medida de comparación, sucede que la Unión Soviética contribuyó con menos del 1% del total mundial en 1910, pero con el 18% hacia 1960. Durante el mismo periodo los países del Commonwealth británico contribuyeron con un constante 13-15%, mientras que la contribución de Alemania descendió del 40 al 10%. Estas discontinuidades introducen una nota preventiva, y quizá saludable para los involucrados en asuntos de decisión en la política de la ciencia. Las persuasivas curvas de Price ocultan un grado muy significativo de cierre promedio; dentro de las ciencias aisladas y dentro de países determinados, no hay nada inevitable sobre el curso del "progreso", esto es, nada que no pueda ser influido por juicios políticos. Consecuentemente hay graves riesgos en cualquier intento de tratar las curvas exponenciales como "leyes" genuinas mediante las cuales el futuro puede ser determinado.

Con esta salvedad importante, sigue siendo cierto sin embargo que si el carácter exponencial *total* del crecimiento científico tiene algunas de las propiedades de una ley, nos ayuda al entendimiento de la institución de la ciencia si no se trata únicamente de una ley empírica, sino de una con una pequeña cantidad de apoyo teórico. Al igual que sucede con un proceso de crecimiento biológico, la explicación del crecimiento científico debe establecerse en términos de dos factores, su "vitalidad" interna y su medio ambiente externo. Por una parte la vitalidad de la ciencia se deriva del hecho de que las respuestas a las preguntas planteadas por la investigación científica plantean por sí mismas nuevas preguntas; la ciencia por lo tanto tiene la capacidad para generar investigaciones de amplitud siempre creciente y el potencial para una aceleración interminable. Por otra parte el medio ambiente externo de la ciencia es, claro está, la sociedad dentro de la cual opera y con la cual interactúa. Un medio ambiente social desfavorable puede inhibir, y hasta estrangular, a la ciencia antes de que su propio ímpetu produzca la retroalimentación positiva que entonces influye en los acontecimientos para ventaja suya. La influencia necesariamente positiva puede descubrirse en el siglo XVII en el continuamente expansivo papel cultural de la ciencia como un sustituto de la religión. De esta manera, mientras

más se llegaba a entender el mundo en términos científicos, más necesidad se tenía de la educación científica y más se consideraba al progreso humano como función del avance científico. Con el surgimiento de la industrialización, la ciencia se convirtió en componente vital del comercio y de la guerra, cambiando la naturaleza misma de la sociedad y haciéndose indispensable para la vida moderna. En esta forma fue la ciencia la que creó las condiciones necesarias para su propio crecimiento continuo.

La curva logística

Sólo se precisa una mirada sobre la figura 5 para darse cuenta de que el crecimiento exponencial no puede continuar siempre. Si, como lo demuestra Price, la ciencia ha crecido en cinco órdenes de magnitud en 150 años, es claro que no puede continuar haciéndolo. Si creciera en otros dos órdenes de magnitud, tendríamos (digamos a mediados del próximo siglo) "dos científicos por cada hombre, mujer, niño y perro de la población". Lo que sucede en la práctica es que el crecimiento exponencial alcanza un tipo de límite "natural" (en el caso de la ciencia, la insuficiencia de recursos y mano de obra) y la curva de crecimiento, en vez de elevarse inexorablemente en pendiente, principia a achatarse con la inminente saturación. Esta forma de *S* es conocida como curva logística, de la cual la curva exponencial es sólo una parte (figura 7). Nuevamente, no es peculiar de la ciencia, pero describe exactamente el crecimiento de las poblaciones biológicas a través del tiempo, o el de una planta particular con la edad. Al compararla con el desarrollo de un tallo de frijol, Price sugiere que el largo periodo de crecimiento exponencial de la ciencia es semejante a su exuberante fase juvenil. Sin embargo, actualmente la ciencia está principiando a entrar en una fase más estable de vida adulta. La transición del crecimiento exponencial puro al crecimiento exponencial con saturación (véase la figura 7) es de crisis prolongada y, según los datos de Price, estamos ahora, en 1980, acercándonos al punto medio de esta crisis que se extiende por cerca de una generación a cada lado del punto de inflexión de la curva. Su descripción de las características del periodo de crisis (escrita a principios de los años sesenta) toca ahora un asunto familiar:

Habrá un interés rápidamente creciente sobre problemas como los de mano de obra, literatura y desembolso, que requieren solución por medio de la reorganización. Aún más, a medida que esos cambios tengan éxito conducirán a una fresca escalada de adaptación y crecimiento rápidos. Los cambios que no sean eficientes o lo suficientemente radica-

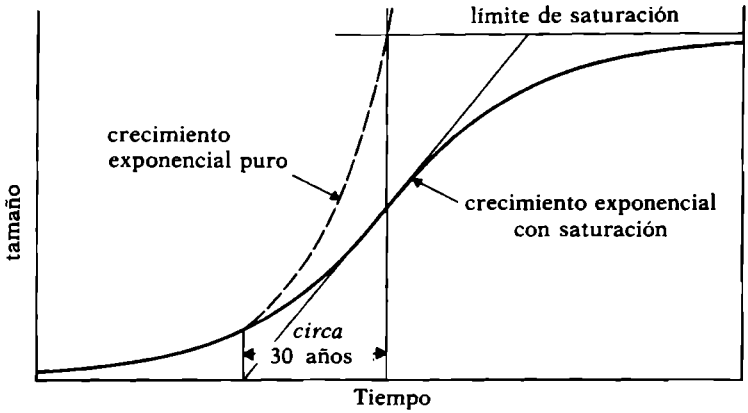


FIGURA 7
La curva logística

les para causar esa renovación conducirán a una cacería, produciendo violentas fluctuaciones que quizá finalmente se aminoren.

En vista de los 300 años en los que la ciencia se conforma como un todo a la curva de crecimiento exponencial, parece que la desaparición de este patrón (saturación), que empezó a ser claramente perceptible en los años sesenta, indica algo radicalmente nuevo en la ciencia moderna. En los términos de Price, señala la transición de la pequeña ciencia —la que realizan los individuos o pequeños grupos de colaboradores— hacia la *gran ciencia* —la de las gigantescas organizaciones de investigación, trabajando con grandes grupos de científicos en programas planeados a largo plazo.

La experiencia de trabajar en la gran ciencia es muy diferente de la muy antigua tradición del pionero solitario. Y ya que la gran ciencia se encuentra en su primera generación, es inevitable que la mayor parte de su personal haya sido entrenado, y se le hayan comunicado expectativas, en la atmósfera del viejo estilo. Esto puede ser una de las principales causas de tensión dentro de la gran ciencia, ya que provoca conflictos de lealtad entre subculturas demasiado diferentes. El científico de viejo estilo no acepta de inmediato las nuevas demandas de la burocrática administración de investigación y dirección, viéndose inclinado a creer que la atmósfera de "banda transportadora" del grupo de investigación, en la que cada individuo no hace más que su propia tarea limitada, es incompatible con la libertad individual, la originalidad y la realización. Más aún, siente que en las manos de sus sucesores —aquellos que no han experimen-

tado el tradicional entrenamiento de oficio del científico joven— la ciencia misma puede perder su incomparable lógica interior, y que su independencia imaginativa y crítica está siendo empantanada por una cada vez más próxima identificación con las "misiones" de la industria.

Estos graves problemas de nuestro actual periodo de crisis, dice Price, deben ser considerados, no obstante, como "el principio de nuevas y excitantes tácticas para la ciencia, operando con reglas básicas completamente nuevas". La curva logística sugiere nuevas oportunidades para un futuro desarrollo, de manera que la actual gran ciencia puede mostrarse como un "breve interludio entre los siglos tradicionales de la pequeña ciencia y el inminente periodo que sigue a la transición. Si esperamos disertar con estilo científico sobre la ciencia, y planear en consecuencia, deberíamos llamar *ciencia nueva,* o *saturación estable* al periodo que se avecina; si no tenemos esa esperanza, deberíamos llamarlo senilidad."

La élite científica

En las dos secciones previas nos dedicamos exclusivamente a los aspectos cuantitativos de la ciencia como un todo. Pero la ciencia es en última instancia el trabajo de científicos individuales, y como individuos parece no existir razón para que no se comporten en una forma muy semejante a la de los demás miembros de cualquier grupo de seres humanos. ¿Hay pues algunas formas válidas con las que se pueda juzgar la *calidad* de los científicos?

Según Price, "la brecha entre un ganador del premio Nobel y una persona corriente es bastante mayor que entre un ganador de una medalla olímpica de oro y un mortal ordinario". Dentro de la ciencia misma, un método de valoración admitidamente burdo pero no por ello menos enteramente subjetivo, podría hacerse en términos del número de documentos publicados. Sobre esta base, la "productividad" o el "logro" varía por un factor de 1000:1, puesto que el científico más prolífico resulta ser el matemático británico Arthur Cayley (1821-1895), con 995 artículos (22 al año ¡durante 45 años!), mientras que para garantizar el título de "científico" debemos razonablemente decidir que es necesario haber publicado al menos uno. Claro está, se podría decir que estos medios de valoración dan por admitida la misma cuestión que aseguran resolver, porque hacen caso omiso de la *calidad* de los documentos producidos mientras que, dados los problemas inherentes a cualquier valoración semejante, una variación de productividad de este orden se cree que puede aplicarse igualmente a otras formas de actividad creativa. Si bien la cantidad de material publicado no es un indicador infalible de la cali-

dad del creador, los creadores de una calidad ampliamente aceptada son típicamente prolíficos.

La investigación del número de documentos científicos publicados muestra, de hecho, que hay una distribución desigual entre la población total de científicos. Contrariamente a lo que se esperaría sobre una distribución estadística *normal* en la que la mayoría de los científicos produjeran un número de documentos cercanos a la media, resulta que una pequeña *élite* (cerca del 6%) de científicos producen la mitad de todas las publicaciones sobre ciencia, y el 1% de ellos producen casi la cuarta parte. Los pocos de la élite —Price estima que no son más de la raíz cuadrada del número total de científicos practicantes— constituyen el centro creativo de lo que a menudo se llama "colegio invisible" de individuos que realmente se interesan en el progreso de una disciplina dada.

El hecho de que existan estos colegios invisibles tiene relación con la en cierto modo traumática transición de la pequeña a la gran ciencia discutida en la sección previa. Hemos visto que una tendencia características dentro de la gran ciencia es la aparición del grupo de investigación. Cuando la investigación es realizada por grupos y no por individuos, el trabajo que se publica aparece bajo los nombres de numerosos autores en vez de los uno o dos que era casi universal antes del presente siglo. Aunque la tendencia hacia la paternidad literaria múltiple se inició antes de la era de la gran ciencia, se ha convertido en regla en años recientes en áreas como las de la energía física. Ahora es común encontrar hasta dos y tres *docenas* de autores listados como responsables de un documento, fenómeno que no sólo revela cuán desafortunado era el registro de publicaciones en la época anterior, sin ninguna esperanza de aplicación valorativa a los méritos de los individuos, sino que también mina seriamente las bases más sutiles, aunque subjetivas, de esos juicios. La colaboración de grupo en la investigación está, de hecho, tendiendo a exagerar todavía más la discrepancia entre la minoría de los científicos eminentes en los colegios invisibles y la masa de científicos que son mínimamente productivos. Esto se debe a que el primer grupo puede aumentar su producción todavía más, dirigiendo grupos de investigación, mientras que los últimos caen al plano de autores "fraccionarios", quienes producen no más de una enésima parte de un documento.

La gran ciencia, la investigación en equipo y la múltiple paternidad autoral, parecen entonces estar minando el papel tradicional del documento científico que ha sido edificado durante tres siglos. Aun el instrumento más reciente de comprobación de "calidad", el *índice de citas científicas* (que, claro está, no fue ideado teniendo en mente algún propósito siniestro) puede ser de valor limitado a este respecto. El índice proporciona la lista, a continuación de un escri-

to determinado, de todos los documentos posteriores que lo citan en sus bibliografías. En principio, la frecuencia con la que se refieren a tal escrito las publicaciones subsecuentes permite hacerse una idea de la importancia que ha ganado. No es necesario decir que hay innumerables problemas de interpretación en este aparentemente simple procedimiento, ya que hay numerosas y muy diferentes razones para citar un escrito particular en relación con el trabajo propio, y de ninguna manera todas tienen que ver con su importancia científica. Ha habido muchos casos, por ejemplo, en los que un documento que abre nuevos horizontes ha sido pronto suplantado (y deja de citarse) por el impulso de nuevas publicaciones de las que él fue sustento, mientras que un documento que reporta únicamente el perfeccionamiento de una técnica es citado a menudo, casi en forma ritual, durante muchos años.

Mientras que la publicación de documentos científicos probablemente continuará siendo una guía útil para el crecimiento de la ciencia como un todo, puede declinar, sin embargo, como indicador valioso de los méritos de trabajos particulares. Éste es otro de los síntomas de la situación de crisis de la ciencia moderna. El aumento de los colegios invisibles, internacionales y muy móviles, dentro de cada una de las áreas mayores de investigación, ha convertido al documento científico tradicional en "un arte muerto o agonizante", ya que la comunicación por contacto directo, de persona a persona, es cada vez mayor. La función del documento de investigación se ha convertido ya en algo secundario en las áreas más dinámicas, porque el atraso en su publicación (que puede ser hasta de dos años) asegura que, para cuando aparezca, el documento no podrá más que confirmar lo que los miembros del círculo de la élite ya saben. Esta tendencia actúa para aumentar el poder de los colegios invisibles tanto dentro de la ciencia como entre la ciencia y las fuerzas sociales y políticas de su medio. Una situación tan excesivamente "no-democrática", ya sea que se le considere natural o inevitable, produce obviamente un cúmulo de cuestiones importantes para la política y la educación científicas.

ASPECTOS ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DE LA CIENCIA PURA

Además de los enfoques cuantitativos de la estructura de la literatura científica, han surgido otros dos temas importantes en la sociología de la ciencia. El primero en aparecer históricamente fue el concerniente a examinar las influencias "externas" sobre la ciencia o, quizá más exactamente, las relaciones recíprocas entre la ciencia y otras instituciones sociales. Este enfoque fue claramente asocia-

do con los nombres de Karl Marx y Max Weber, y surgió de una tradición intelectual más amplia y más temprana a la que ahora nos referimos como la sociología del conocimiento, una disciplina que exploró la influencia de las fuerzas sociales sobre los orígenes y el desarrollo de las ideas en general. La opinión de Marx era que el sistema de ideas identificado con una sociedad particular recibía una influencia mayor de la base económica de esa sociedad, o sea, de las condiciones económicas de vida prevalecientes. De esta manera era la posición del individuo en la estructura de clases, por ejemplo, la que determinaba ampliamente sus ideas y sus creencias (véase el capítulo 8). Weber, por otra parte, aunque no descontaba la importancia de factores puramente materiales, argumentaba que las ideas por sí mismas tienen también una importante función en la sociedad. Fue por esta razón por la que examinó el panorama mundial general y el sistema de valores del protestantismo respecto a su impacto en el desarrollo de la economía capitalista en Europa.

El enfoque de Weber fue retomado y ampliado por otros sociólogos en varios estudios sobre las relaciones entre la ciencia y los valores religiosos o los sistemas políticos, muy especialmente quizás en la llamada "Tesis puritana" de Robert K. Merton, tal como la presentó en su *Science, technology and society in Seventeenth Century England* (1938). Si bien Merton no identificaba explícitamente las influencias causales subyacentes al surgimiento de la ciencia moderna, claramente dejó sobreentendido que el grupo dominante de *valores* prevalecientes en esa época —en particular los que impulsaban la experimentación práctica—, aunque distintos de cualquier factor material, eran los principales responsables. La tesis de Merton encontró un campo tan fértil en el mundo académico occidental que fue, durante casi toda una generación, aceptada con muy poca crítica, estimulando además otros estudios de tipo semejante.

Sin embargo, y a pesar de esto, la tradición heredada por la más amplia sociología del conocimiento fue considerada por muchos eruditos como demasiado vaga para un análisis satisfactorio, de manera que la principal influencia de los primeros trabajos de Merton no se mostró como promotora del estudio "realista", aunque evasivo, de la ciencia como parte integral de una sociedad más amplia, sino más bien del análisis interno de una ciencia "idealizada", pero accesible, definida como un subsistema social más o menos independiente. Desde este enfoque los aspectos metodológico y cognoscitivo de la ciencia tienen mucho menos importancia que las normas de conducta de la gente que los llevan a cabo. Puesto que acentúa los trabajos internos de la ciencia como institución social —por ejemplo las características sociales de la organización de la ciencia y los propósitos de los científicos hacia un marco teórico claramente entendido— el enfoque es a menudo denominado "funcionalista". Esto

es, tiene relación con las fuerzas que funcionan para mantener el *status quo* del subsistema de la ciencia. El funcionalismo representa el segundo de los dos temas principales mencionados con anterioridad, y como ejemplos examinaremos brevemente el último trabajo de Merton mismo, y el de T.S. Kuhn, junto con la ampliación de sus ideas a cargo de W.O. Hagstrom y M.J. Mulkay.

El ethos *de la ciencia*

El trabajo del propio Merton, dentro de este segundo tema principal, constituye lo que algunos todavía consideran la única tradición madura en la sociología académica de la ciencia occidental aunque en años recientes ha sufrido incesantes ataques. Presenta una idea muy idealizada de la ciencia en términos de cuatro normas, o imperativos institucionales, de los cuales se dice que gobiernan la actividad científica. Estos imperativos han comprometido a los científicos no sólo porque son técnicamente eficientes como los mejores medios disponibles para lograr el fin primordial de hacer avanzar el conocimiento, sino también porque son considerados como "correctos y buenos". En otras palabras, son en última instancia prescripciones morales.

El primer imperativo institucional de Merton es el del *universalismo.* Su propósito es garantizar que el nuevo conocimiento sea evaluado únicamente en términos de criterios objetivos e impersonales, y que asuntos como los avances profesionales sólo sean determinados por el talento. En esta forma, nos dice, "el procedimiento de Haber [para la preparación del amoniaco] no puede ser invalidado por un decreto de Nuremburg, ni puede un anglófobo rechazar la ley de la gravitación". El universalismo está ligado a la más aguda tensión en épocas de conflictos internacionales, ya que es incompatible con valores como el etnocentrismo o el nacionalismo. Por otra parte, es patrocinado por la democracia, ya que ésta valora los logros sobresalientes en cualquier plano.

Comunismo es la segunda norma, entendida en el sentido de que los "bienes" de la ciencia —su cuerpo de conocimiento público— están sujetos a la propiedad común o pública, y no a la privada. La ciencia acumula el conocimiento por medio de su amplia labor de colaboración, y sus hallazgos son entregados a toda la comunidad. Como resultado, los únicos derechos de propiedad del científico individual son los de reconocimiento y estima, que se acumulan más o menos en proporción directa con la importancia de su trabajo. Por esta razón se considera que las disputas sobre la prioridad del descubrimiento, fenómeno recurrente a través de la historia de la ciencia, se ajustan enteramente a los imperativos institucionales. El de-

recho a ser reconocido por un buen trabajo es absoluto. A la inversa, el secreto por parte de los científicos está prohibido. Es deber de cada uno de ellos comunicar sus descubrimientos a sus colegas, porque el fin institucional que está en la base de la ciencia es la expansión del conocimiento. En esta forma el científico debe actuar siempre por el bien común, ya que él mismo se ha beneficiado con los esfuerzos comunes de sus predecesores, tal como el mismo Newton reconoció en su famosa frase: "Si he logrado ver más allá, ha sido porque subí en hombros de gigantes." Y a pesar de la naturaleza competitiva de la ciencia, el "bien común" se extiende desde los confines de cualquier laboratorio particular hasta la comunidad científica en su totalidad. Ésta es la razón del conflicto entre la idea de "descubrimiento" en la ciencia —algo que puede proporcionar distinción a un individuo o a su grupo, pero que sin embargo es accesible a todos— y la de "invento" en tecnología, en donde la premura por las patentes pone en evidencia derechos exclusivos de uso, o sea, la antítesis absoluta del comunismo.

El tercer elemento imperativo de Merton acerca del *ethos* científico es el *desinterés*, palabra con la que se quiere significar un interés profundo y desinteresado en el funcionamiento del mundo, un interés que surge simplemente del propio interés. Puesto que se espera que el científico haga sus descubrimientos accesibles al escrutinio público, hay por consiguiente poco campo para el fraude y la irresponsabilidad. En este importante sentido, el comportamiento de los científicos está sujeto a un rígido control institucional. Un rechazo del individuo a someterse a ello será condenado por el resto de la comunidad, obligándolo así a trasladar el desinterés a la práctica, sin importar qué motivos puedan operar veladamente. Aunque la ciencia comparte esta norma con otras profesiones, el científico tiene poco margen para explotar la ignorancia o la credulidad del lego, lo cual no sucede con, digamos, la medicina o el derecho. Como resultado, la ciencia y los científicos han gozado tradicionalmente de un estatus de reputación y de conducta ética particularmente elevado (véase el capítulo 8).

El último imperativo institucional es lo que Merton llama *escepticismo organizado*. Evidentemente éste se interrelaciona con los otros y, en realidad, es una parte fundamental de la metodología científica misma. Es este elemento el que muy a menudo pone a la ciencia en conflicto con otras instituciones sociales, como la Iglesia y el Estado, ya que la ciencia "no preserva la división entre lo sagrado y lo profano, entre lo que requiere respeto sin crítica y lo que puede analizarse objetivamente".

Control social dentro de la ciencia

En la obra de Merton la cuestión de la desviación de las normas planteadas por el *ethos* científico fue poco examinada porque se consideraba muy poco usual. Asimismo, la cuestión de la motivación fue ampliamente ignorada. En una extensión directa del marco teórico de Merton, W.O. Hagstrom ha destacado sin embargo estos dos aspectos en su estudio empírico sobre los científicos académicos. Al reconocer un comportamiento desviante, pudo acentuar aquellas condiciones institucionales que tienden a minimizarlo. Para Hagstrom, la motivación sobresaliente de los científicos puros es el deseo de reconocimiento de sus compañeros, y para lograrlo ofrecen "obsequios" o "contribuciones" a la comunidad científica en forma de información publicable. Se dice que esto es un intercambio de información en busca de reconocimiento en el núcleo de la institución de la ciencia pura.

Mientras que la naturaleza de la información ofrecida será determinada por el *ethos* de la ciencia, el reconocimiento buscado puede llegar en varias formas. En primera instancia aparece por medio de la publicación de documentos en las revistas especializadas: "el prestigio como científico puede alcanzarse *sólo* por medio de esos obsequios". La aparición de documentos indica que se han alcanzado los estándares de la comunidad, ya que las mejores revistas científicas publican únicamente una proporción cuidadosamente seleccionada de los textos que se les ofrecen. Más aún, y más tangiblemente, el reconocimiento puede venir bajo la forma de inclusión en sociedades de especialistas, de oportunidades para asistir a conferencias tanto en su país como en el extranjero y, por último, para los pocos selectos y afortunados, quizás de una membrecía en las grandes academias científicas, o hasta un premio Nobel.

Si el intercambio de información para obtener reconocimiento obra como se intenta, dentro de la atmósfera "pura" de la investigación académica, no debe ser corrompido por influencias del exterior. Esas influencias pueden incluir otros sistemas de intercambio (en competencia) identificados por los sociólogos, como los que implican presiones políticas o económicas. Digamos, por ejemplo, que si un diario científico manejado por un editor comercial y no por una sociedad culta (hay muchos diarios de este tipo) intentara disminuir sus estándares de arbitraje únicamente con el propósito de aumentar la *participación* de la disciplina en cuestión y con objeto de aumentar sus ventas, podría atraer documentos por una razón ajena a la ciencia, mientras que los científicos rápidamente buscarían este conducto para impulsar su reconocimiento. Una corrupción semejante del sistema de intercambio científico prostituiría el *ethos* de la ciencia y debería ser considerado en términos de la par-

ticipación de factores no deseados ajenos a la ciencia misma. Según el punto de vista ortodoxo, el *ethos* de la ciencia pura puede mantenerse mientras opere únicamente con factores internos, esto es, mientras sea totalmente autónoma.

Hagstrom considera que la función del sistema de intercambio es "interiorizar" los valores del *ethos* científico. Esto se logra preservándolos de influencias corruptas de factores externos, específicamente premiando la concordancia y castigando la desviación. Una buena cantidad de concordancia queda siempre asegurada por el prolongado proceso de *socialización* por el que los científicos deben pasar durante su formación, pero únicamente el sistema de intercambio puede eliminar cualquier desviación que todavía suceda. Al igual que Merton, Hagstrom acentúa la frecuencia de las disputas de prioridad como evidencia de apoyo para su teoría, ya que es aquí donde la competencia por el reconocimiento es más aguda. Sin el reconocimiento de prioridad, el sistema de incentivos se vería amenazado, ya que el fuerte deseo de ser reconocido es lo que induce a los científicos a emprender la tarea de poner por escrito sus resultados, en conformidad con la norma esencial del comunismo.

El deseo de reconocimiento induce al científico no sólo a comunicar sus resultados; también influye en la selección de problemas y de métodos. Tenderá a seleccionar problemas cuya solución traerá un mayor reconocimiento, y tenderá a seleccionar los métodos que harán aceptable su trabajo a sus colegas.

Es así, dice Hagstrom, como se establece la "diferenciación de disciplinas", siendo la creación de especialidades el medio más efectivo para evitar la competencia intolerable por premios limitados. Semejante dispersión puede llevar al aislamiento, tanto geográfico como social, y Hagstrom hace una analogía con la conducta competitiva en el mundo orgánico, en donde la especialización de los científicos sería equivalente a la división por especies en la naturaleza. La especialización es el medio ambiente para el que los especialistas parecen más aptos, y el cual determina ampliamente su comportamiento. Para poder entender el comportamiento científico es, por lo tanto, esencial tener una apreciación de las especialidades particulares. En esto la idea de Hagstrom, lejos de un interés exclusivo en las normas mertonianas, refleja la influencia de los modernos historiadores de la ciencia que se esfuerzan en identificar aquellas características del conocimiento científico que induciría el cambio, y no tanto las fuerzas sociales que actúan en el proceso. En pocas palabras, están interesados en cómo crece la ciencia.

Procesos sociales de innovación

Ya hemos visto que el libro de T.S. Kuhn, *The structure of scientific revolutions*, ha sido aclamado como una importante piedra de toque intelectual que posee la máxima aplicación (capítulo 4). Esto lo confirma el hecho de que su influencia en la sociología de la ciencia ha sido quizá mucho mayor que en la filosofía. La obra de Kuhn ha proporcionado una penetración nueva y más sutil en los procesos internos de la ciencia que tienen relación tanto con su estabilidad como con su crecimiento. Ya que hemos discutido sus ideas principales en el capítulo 4, nos limitaremos ahora únicamente a relacionarlas con otros estudios sociológicos.

De acuerdo con la tradición de Merton, el conocimiento científico se acumulará en virtud de su conformidad con las normas institucionales. Sin embargo, para Kuhn

> [...] una investigación afortunada demanda un profundo compromiso con el *status quo* [aunque] la innovación continúa siendo el núcleo de la empresa. Los científicos son *entrenados* para operar como solucionadores de enigmas a partir de reglas establecidas, pero también se les *enseña* a considerarse a sí mismos como exploradores e inventores que no conocen otras reglas excepto las que dicta la naturaleza misma. El resultado es una tensión —que se da en parte dentro del mismo individuo y en parte dentro de la comunidad— entre las habilidades profesionales, por un lado, y la ideología profesional, por el otro.

Dentro de la "ciencia normal" los imperativos mertonianos podrían quizás operar, pero la guía primaria para un campo de investigación dado sería el paradigma prevaleciente de ese campo; el reconocimiento podría llegar al científico gracias a su refinamiento y a su articulación. La ciencia normal es, en palabras de Kuhn, "el intento de forzar a la naturaleza dentro de cajas conceptuales proporcionadas por la educación profesional". Es únicamente dentro de estas cajas conceptuales en donde es posible la investigación detallada de los problemas sugeridos por el paradigma, y son ellas las que, a su debido tiempo, generan las anomalías que llevan a la reestructuración del modelo aceptado, o hasta su revolucionario derrocamiento. Así es verdaderamente como sucede la diferenciación de disciplinas de Hagstrom, ya que la creación de especialidades impulsa el crecimiento del conocimiento, concentrando la atención de los especialistas en problemas que son considerados por su comunidad tan importantes como solubles. Su solución les otorga el reconocimiento que buscaban.

El sociólogo británico M.J. Mulkay ha usado el "caso Velikovski" para ilustrar su afirmación de que en la ciencia revolucionaria de

Kuhn —el periodo de crisis tras la acumulación de anomalías que conduce al abandono de un paradigma y la aceptación de otro— las normas mertonianas no operan de ninguna forma. El trabajo cosmológico de Immanuel Velikovski, publicado primeramente en su extraordinario libro *Worlds in collision* (1950), pretendía flagrantemente poner en tela de juicio muchas de las consideraciones fundamentales de la biología, la geología y la astronomía. No necesitamos examinar los detalles del caso para comprender que las suposiciones atacadas eran los paradigmas prevalecientes de sus respectivas disciplinas y, en el análisis de Mulkay, la reacción violenta y aun histérica de los científicos hacia el libro de Velikovski indica que su comportamiento no estaba gobernado por la supuesta lealtad a las prescripciones morales del *ethos* científico, sino más bien por un poderoso sentido de compromiso psicológico con las normas teóricas y metodológicas. Si los imperativos mertonianos hubiesen sido efectivos, las afirmaciones de Velikovski hubiesen sido sometidas a un examen detallado, desinteresado y crítico. En vez de ello aparecieron violentos ataques contra Velikovski como individuo; juicios sobre su libro manifiestamente acompañados de rechazo a leerlo, e intentos del *establishment* científico para impedir el acceso sin restricción a los datos del mismo Velikovski. Estas reacciones "no-científicas" rompieron evidentemente las normas del universalismo, del escepticismo organizado y del comunismo. Para Mulkay, ellas reafirman la tesis de Kuhn sobre la rigidez, más que la flexibilidad, del científico en su apego a los paradigmas, e indican que es esta rigidez, más que los imperativos mertonianos, la que garantiza el crecimiento del conocimiento.

De cualquier modo, Mulkay extiende las ideas de Kuhn para producir un esquema que, bastante mejor que el del propio Kuhn, hace compatible esta inercia intelectual dentro de la ciencia con la rapidez del avance científico actual. Mulkay hace notar que el crecimiento de la ciencia ocurre como resultado de la propagación de la influencia de un paradigma desde el área en la que fue formulado hacia otras áreas. Esto se logra en virtud de que la comunidad de investigadores se compone de una multitud de redes problemáticas que se entrecruzan. Éstas representan áreas de amplitud intelectual más pequeñas que los límites disciplinarios convencionales que han sido institucionalizados dentro del marco universitario, siendo sus miembros especialistas cuya preocupación profesional se limita a un conjunto de problemas estrictamente restringidos. La importancia de estas redes está en el hecho de que los nuevos hallazgos de investigación deben alcanzar primero la posición de conocimiento científico genuino mediante un proceso de validación por los miembros de la especialidad de que se trate. Esta validación concede un grado de reconocimiento en el(los) científico(s) responsable(s) y además me-

jora la cohesión de la red de investigación en términos del consenso alcanzado. Aquellos que hacen descubrimientos de importancia ampliamente reconocida surgen como la élite de su especialidad; su éxito atrae nuevos participantes al campo y éstos, cada uno a su vez, promueven el crecimiento exponencial.

Cuando este crecimiento llega a detenerse, se vuelven cada vez más raros los nuevos hallazgos importantes. Las recompensas profesionales de reconocimiento se convierten entonces en inadecuadas y el reclutamiento en la especialidad declina. Más aún, los individuos establecidos en ella empiezan a explorar en otros campos para evitar el estancamiento, emigrando hacia nuevas "áreas de ignorancia" en donde pueden aplicar su experiencia anterior en problemas que todavía permiten alcanzar aceptación científica. A causa de esto, y en razón de que en un nuevo campo no hay todavía especialistas comprometidos, hay menos inercia en las nuevas áreas de desarrollo y menos resistencia a la innovación. De cualquier forma, según Mulkay, es así como las antiguas redes de investigación declinan y se disuelven, mientras que otras nuevas se afirman y crecen.

El verdadero proceso por el que se generan nuevas ideas está, nos dice Mulkay, fuertemente relacionado con la "fecundación cruzada de ideas". Como evidencia de esto señala la contrastante organización estructural y funcional de las ciencias francesa y alemana en el siglo XIX, la primera rígida y estrechamente centralizada, la otra flexible y competitiva. La fecundación cruzada es promovida por un sistema fluido que estimula un cierto grado de dualidad-funcional en los individuos, como es el caso de los "practicantes-científicos" o el de los "investigadores-profesores". Esa flexibilidad ayuda a aflojar las "configuraciones mentales" que, asegura Kuhn, son una consecuencia del rígido sistema tradicional de la educación en ciencias. La innovación resulta entonces de la mezcla creativa de marcos de referencia divergentes.

Aunque trabajando aparentemente dentro del tema "internalista" que se desarrolló a partir del funcionalismo primitivo, Mulkay está plenamente consciente de que en años recientes, con la caída en la curva de crecimiento exponencial para la totalidad de la ciencia, mucho ha cambiado. La crítica de la ciencia —particularmente la que viene de *dentro*— está más propagada que nunca (véase el capítulo 8). Aun tomando en cuenta una leve disminución del apoyo financiero, el reclutamiento de personal entrenado se ha vuelto inadecuado. Ante todo, las limitaciones para la comunidad de investigación científica han llegado cada vez más de direcciones no-científicas, especialmente de parte de un público lego que demanda mayor responsabilidad respecto a fines políticos y económicos. Si estas tendencias continúan —y todas las expectativas indican que así será— la conveniente separación entre un imperio idealizado de ciencia pura

(que hasta ahora había ejercido un poder tan exclusivo sobre los intereses de los sociólogos ortodoxos) y el de una ciencia aplicada a objetivos industriales y militares, se volverá inevitablemente más velada, así como menos defendible. Por lo tanto es tiempo ya de que examinemos esos asuntos. (Por razones que se harán obvias, el surgimiento de una cabal sociología de la ciencia no-mertoniana se describe más adelante en este capítulo.)

CIENCIA, TECNOLOGÍA E INDUSTRIA

Obviamente es importante entender la organización social de la ciencia pura, pero no debe hacerse a expensas del estudio de lo que es más representativo de la ciencia como un todo. En el siglo XX, la ciencia típica se ha convertido en la ciencia "aplicada" que se hace en los laboratorios gubernamentales o industriales. Los esquemas de Merton, Hagstrom, Kuhn, Mulkay y de la mayoría de los otros sociólogos, pueden ser aplicados —si acaso— sólo a una minoría del total de científicos, quizá no más del 10%. Y aun dentro del marco de la ciencia pura, cuando ésta se convierte en gran ciencia y el trabajo de equipo en lo cotidiano, es en todo caso imposible aplicar esos modelos como un sistema de intercambio información-reconocimiento.

Una razón importante para esta distinción entre la ciencia pura, por una parte, y la ciencia aplicada y la tecnología, por la otra, son las diferencias que ellas exhiben en la sociología de la publicación. Mientras que el científico puro está fuertemente motivado para publicar sus hallazgos porque ésa es la única forma en que espera establecer un conocimiento nuevo y con ello su propia reputación, el tecnólogo carece muy a menudo de acceso a cualquier cosa equivalente al documento científico. Esto no quiere decir que no existe la literatura técnica, lo que está lejos de ser el caso, sino más bien la literatura que puede encontrarse tiene una función diferente. Según Price, está función es

> hacer las veces de un periódico en asuntos corrientes, para pretenciosos y extravagantes, y probablemente, sobre todo, de una carga adecuada para soportar los principales contenidos de anuncios que, junto con catálogos de productos, son los depósitos fundamentales del actual logro de cada tecnología.

No existen documentos de acceso público en el sentido científico porque el tecnólogo no está comunicando conocimiento abiertamente, sino que a menudo está acumulando conocimiento con el fin de ob-

tener ventaja comercial frente a sus competidores. A diferencia del científico, no posee un colegio invisible a través del cual puedan transmitirse los conocimientos más recientes mucho antes de la publicación de su trabajo. Por lo tanto está más ansioso por encontrar cualquier tipo de literatura y obtener, si la hay, toda la información útil leyendo "entre líneas". Price resume todo esto en el aforismo: "el científico quiere escribir, pero no leer; el tecnólogo quiere leer, pero no escribir", y define la tecnología como "la investigación en la que el producto principal no es un documento, sino una máquina, un medicamento, un producto o un proceso de cualquier tipo".

Desafortunadamente, nuestra tendencia a hablar en esta forma de la ciencia y la tecnología, dando a entender que son actividades separadas, ha provocado muchísima confusión. Hasta cierto punto es resultado de un modo de pensar obsoleto y oscuro. (Proporcionaremos definiciones claras respecto a la situación contemporánea en la siguiente sección.) Por ejemplo, muchos escritores, intentando determinar las relaciones históricas entre ciencia y tecnología, han presupuesto una distinción clara entre el interés por el conocimiento teórico, por una parte, y por las artes prácticas y los oficios, por la otra. Dentro de esta conveniente perspectiva los tipos de preguntas que pueden plantearse incluyen: ¿cuál de las dos va primero, la ciencia o la tecnología?, ¿están relacionadas causalmente?, ¿puede describirse algún patrón congruente? No hay necesidad de decir que este enfoque ha producido muy pocas respuestas simples. Entre una multitud de controversias, la única conclusión aceptada que surge es que no existe un modelo simple que gobierne esas relaciones en ningún caso. En las páginas de la historia se pueden encontrar ejemplos en donde una técnica utilitaria parece haber surgido como una consecuencia directa de la investigación científica fundamental; igualmente pueden encontrarse ejemplos en que los avances tecnológicos conducen a un nuevo conocimiento científico; en donde la teoría y la práctica se han desarrollado en forma concertada, o aparentemente en total independencia.

Para nuestro propósito, tiene poco sentido lanzarnos a la controversia misma. Somos afortunados porque las historias tradicionales de la ciencia y la tecnología —en las que a menudo se destacan los heroicos descubrimientos e inventos de unos cuantos grandes hombres, aislados de las fuerzas sociales de su época— en tiempos recientes han dado paso a un análisis más sofisticado que sitúa firmemente esas actividades creativas dentro de un contexto de dimensiones culturales y filosóficas. Un punto ha surgido con perfecta claridad y más alla de toda discusión. Éste es que durante el pasado siglo XIX —sea lo que fuere lo propio en época anterior— hubo una convergencia muy marcada entre ciencia y tecnología, especialmente manifiesta en la cada vez más consciente y extendida aplicación del

conocimiento científico a la práctica técnica. Esto continuó cada vez más rápidamente, y hacia principios del siglo XX la tecnología y la industria se hallaban fuertemente unidas en una compleja red de *inter*dependencia mutua.

En el mundo moderno es mejor que disipemos cualquier vestigio de confusión observando las divisiones entre ciencia y tecnología en términos del medio social en que se desarrollan. No se trata simplemente de que la ciencia valora el conocimiento mientras que la tecnología valora las acciones; más bien se trata de que las comunidades que sustentan la ciencia y la tecnología tienden a valorar tanto el "conocer" como el "hacer". Por la misma razón, el auditorio de la ciencia tiende a constituirse por otros científicos investigadores, mientras que el auditorio principal de la tecnología no está compuesto por investigadores sino por quienes buscan resultados de utilidad práctica. La historia de la tecnología en el siglo XIX nos muestra que su convergencia con la ciencia no se limitó a la mera absorción del conocimiento objetivo de esta última sino que, quizá más importante, absorbió también sus métodos experimentales y su marco institucional. Observamos esto, por ejemplo, en agricultura, en donde las grandes sociedades agrícolas empezaron a emplear a químicos, botánicos y entomólogos para trabajar en problemas de importancia práctica vital; también lo observamos en la ingeniería, que igualmente estableció sociedades profesionales, publicó revistas especializadas, y desarrolló laboratorios de investigación siguiendo la línea de la física. Así, las tecnologías mismas se hicieron científicas y, además, dieron paso a las ciencias específicamente tecnológicas cuyas diferencias con sus "más puras" relaciones es que ellas buscan los tipos de conocimiento más cercanamente asociados con la práctica. Nuevamente en el caso de la agricultura, queda claro que la misma tecnología se ha vuelto más científica en cada década de este siglo; la sirven una multitud de ciencias tecnológicas, desde la física del suelo y la genética de los cultivos, hasta la producción de ganado y la microbiología, mientras que la empresa total se conduce bajo el paraguas de la economía agrícola, que trata de mantener un contacto concienzudamente realista con el mundo más amplio. Ejemplos similares pueden aplicarse a la medicina y a la ingeniería.

La dinámica del sistema asegura que la información importante puede volar en ambas direcciones entre los dos extremos de lo que se ha convertido en un todo continuo de investigación-y-desarrollo. Claro está que no queremos decir que los canales de comunicación son perfectos ni que su modo de operación sea bien conocido. Indudablemente que tienen mucho por descubrir los futuros estudios sociales de la ciencia y la tecnología, tanto dentro del ambiente ideal del laboratorio, amplio y multidisciplinario, como más allá. Pero al

menos ya podemos decir con plena confianza que el modelo tradicional de ciencia como generadora del conocimiento, y la tecnología como el medio para su aplicación, ya no nos ayuda a entender la posición actual; la tecnología no está simplemente *basada* en la ciencia.

Para entender cómo se relacionan ambas, tenemos ahora que examinar además el papel de la ciencia en las industrias tecnológicas modernas.

Ciencia pura, ciencia aplicada y tecnología

Aunque en la sección anterior nos ha costado trabajo demostrar que nunca puede justificarse cualquier distinción rígida entre ciencia y tecnología, al referirnos al todo continuo de investigación hemos evitado sugerir que no existen claras diferencias de énfasis en los extremos. Obviamente una tecnología como la ingeniería agrícola requiere considerable habilidad manual y visión, pero ningún fondo teórico profundo particular; mientras que una ciencia como la física matemática puede ser exclusivamente teórica y requiere de un equipo no mayor que un lápiz y un papel. En las áreas de mayor conflicto es fútil dejarse involucrar en un apasionado debate, no tanto porque nuestras nociones de ciencia y tecnología no están fijadas de ningún modo, sino porque se encuentran en cambio constante. Así que no puede existir una opinión definitiva sobre si el descenso del hombre en la Luna o el desarrollo de reactores nucleares fueron triunfos (o desastres) de la ciencia o de la ingeniería. Claramente ellos implican la compleja interacción entre ambas, de manera que insistir en una separación entre los componentes científicos y los tecnológicos de todo el proceso será apenas un poco más que una declaración de gustos personales.

Afortunadamente una buena base para hacer esas distinciones sobre su utilidad se encuentra en una publicación de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) titulada: *The measurement of scientific and technical activities* (1970). En ella se distingue entre investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. "La investigación básica es la investigación original llevada a cabo para alcanzar nuevo conocimiento o entendimiento científico. No está en principio dirigida hacia cualquier fin o aplicación práctica específicos." La investigación básica "pura" se hace al arbitrio del científico individual, mientras que la investigación básica "orientada" es encaminada en forma general hacia algún campo de interés particular por la organización que emplea al científico.

"La investigación aplicada es también investigación original llevada a cabo para adquirir nuevo conocimiento técnico o científico.

Sin embargo está dirigida principalmente hacia un objeto o un fin práctico. La investigación aplicada desarrolla las ideas en formas operativas."

El desarrollo tecnológico o "experimental es el uso del conocimiento científico para producir materiales, diseños, productos, procesos, sistemas, servicios nuevos o sustancialmente mejorados".

Éstos, entonces, son los componentes separados de la actividad total que en el siglo XX hemos llegado a conocer como Investigación y Desarrollo. Esta actividad es definida por la OCDE como "trabajo creativo realizado con una base sistemática para aumentar las reservas de conocimiento científico y técnico y para usarlas con objeto de idear nuevas aplicaciones". La empresa total está resumida en forma esquemática en la figura 8.

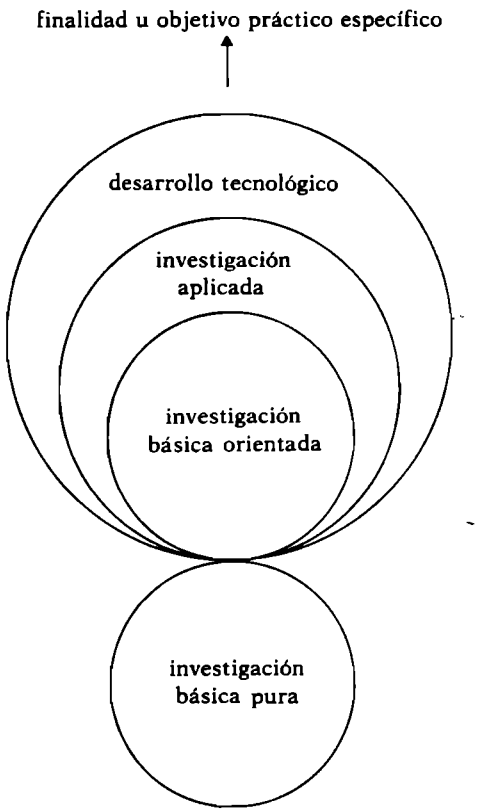


FIGURA 8
Presentación esquemática de los conceptos de investigación básica y aplicada, y desarrollo tecnológico.

Un ejemplo que se da en la publicación de la OCDE para ilustrar las tres categorías principales en el proceso de investigación y desarrollo está tomado del mundo médico. En esta forma la investigación de la secuencia de aminoácidos en una molécula anticuerpo debe ser considerada como investigación *básica*. El uso de esta información para distinguir entre los anticuerpos de diversas enfermedades sería investigación *aplicada*. La fase final del *desarrollo tecnológico* podría entonces relacionarse con encontrar una técnica para sintetizar los anticuerpos de enfermedades particulares y probar su efectividad, quizás en pruebas clínicas.

Mientras que estas categorías separadas todavía siguen distinguiéndose rutinariamente en forma teórica, no puede destacarse demasiado que en la práctica el proceso íntegro sea continuo, implicando en todos sus pasos la contribución de individuos con antecedentes y experiencia semejantes. En esta forma una industria moderna puede incorporar individuos que fueron entrenados como científicos básicos, pero que trabajan en tecnología y en desarrollo, y otros que fueron entrenados como tecnólogos y que sin embargo funcionan como científicos; los procedimientos intelectuales que se siguen y los resultados obtenidos son frecuentemente indistinguibles. Simplemente la manera que elegimos para clasificar a esos trabajadores puede decirnos más sobre los criterios empleados que sobre las actividades individuales. Por ejemplo, una clasificación basada en la membrecía de la comunidad puede llevarnos a considerarlos tecnólogos; una basada en la publicación de los resultados tendería a identificar a los científicos. De cualquier forma, la arbitrariedad de la división es característica de más y más investigación moderna, y ésta es una de las razones por las que la tecnología es considerada más bien como "relacionada-con-la-ciencia" que como "basada-en-la-ciencia".

Aun la llamada investigación básica pura, que es ejecutada típicamente en la atmósfera desinteresada de las supuestas torres de marfil académicas, a menudo resulta (como en el ejemplo anterior) tener aplicaciones prácticas. En razón de que la historia de la ciencia puede proporcionar muchos ejemplos como éste, no es sorprendente que sean comunes los argumentos sobre "usos imprevistos" de la investigación pura cuando se precisa el apoyo financiero. Nadie, por ejemplo, pretendería que Faraday no buscaba el conocimiento "para su propio provecho" cuando descubrió la inducción electromagnética. Al preguntársele para qué servía su trabajo, se dice que Faraday respondió: "¿Para qué sirve un niño?" Viéndolo en retrospectiva tendemos a considerar sus experimentos como uno de los primeros pasos esenciales hacia las tecnologías de la comunicación "inalámbrica" y la ingeniería electrónica. Casi lo mismo podría decirse de la famosa ecuación de Einstein $e = mc^2$, un producto eso-

térico de la física teórica, si alguna vez ha habido uno. Sin embargo, "condujo" al descubrimiento de las armas nucleares, y en este caso Einstein vivió para ver cómo a su trabajo "puro" se le daba "mal uso" en la práctica. El ejemplo del descubrimiento del moho, *Penicillium* (1928), es algo diferente. Aunque fue hecho por Alexander Fleming dentro del espíritu de la ciencia objetiva y teórica, trabajaba en el laboratorio bacteriológico de un hospital, y por lo tanto no se había separado de la práctica. El trabajo de Fleming era "investigación básica orientada"; podía darse cuenta de la potencialidad del moho en la medicina, pero carecía de las facilidades para explotarlo. Mientras tanto su trabajo fue desarrollado dentro de la industria de los antibióticos en forma muy amplia por una compañía farmacéutica, y en esta forma la farmacéutica se convirtió en un ejemplo clásico de una industria "relacionada con la ciencia", en la que siempre ha existido una interacción constante entre la teoría y la práctica.

Ejemplos similares pueden citarse a voluntad. Pero si en el nivel de la metodología podemos reconocer con bastante claridad que las categorías dentro de toda la empresa de investigación y desarrollo son cada vez más "estandartes de conveniencia", en el plano de la economía la distinción permanece relativamente clara. Para aquellos que proporcionan el apoyo financiero sigue siendo la tecnología la que, potencialmente, puede producir dinero, mientras que la ciencia siempre cuesta dinero. Mucha de la ciencia "pura", y no poca de la "aplicada", no sale adelante en el sentido limitado del reembolso económico; pero por lo general la inversión en la tecnología sólo principia cuando los mejores indicadores económicos señalan una producción rentable. (El proyecto aeronáutico supersónico que produjo el *Concorde* constituye una excepción notable, ya que puede considerarse como un éxito técnico que, sin embargo, sigue siendo un desastre financiero; solamente sirve para demostrar que la "más avanzada tecnología" es apoyada a menudo por razones de prestigio o seguridad nacional, más que por beneficio económico, un tema que se considerará más adelante en este capítulo.) Comparativamente hablando, actualmente se gasta poco dinero en la ciencia por razones meramente "culturales", a diferencia del que se gasta, por ejemplo, en apoyar a las artes. Casi toda la actividad científica en el mundo moderno es llevada a cabo con la esperanza de obtener ventajas económicas o militares, y será el propósito final de este capítulo considerar estos aspectos en sus dimensiones sociales.

La aparición de la ciencia en la industria

Las raíces de la industria actual, relacionada con la ciencia y con la alta tecnología, pueden seguirse en el pasado quizás hasta la épo-

ca del Renacimiento, en la filosofía de orientación práctica de Francis Bacon y en los métodos experimentales de Galileo. Sólo entonces, con el inicio de una nueva era de exploración, fue cuando los marinos se volvieron hacia los filósofos naturalistas en busca de una guía para la determinación exacta de parámetros esenciales como latitud y longitud. Para 1600, una publicación, *De Magnete* de William Gilbert, quien es famoso especialmente por su trabajo sobre las propiedades básicas del magnetismo, también incluyó secciones sustanciales sobre el uso de los magnetos en instrumentos náuticos y sobre las dificultades prácticas en la minería y el trabajo del hierro. La inquietud principal de Bacon radicaba particularmente en la aplicación de la ciencia experimental en artes y oficios "industriales" como éstos, y fue en gran parte sobre la base de su filosofía que la Royal Society of London, con sus conscientes actitudes utilitarias, fue fundada en 1660.

Hacia finales del siglo XVII, la acuciante necesidad práctica de sustituir el carbón por la rápida merma en el suministro de madera vio el surgimiento de "El amigo del minero" de Thomas Savary, el primer motor práctico de vapor que se aplicaría al problema del drenaje. Durante las dos generaciones siguientes, por medio de la introducción de pretenciosos diseños, algunos de ellos basados en termodinámica básica, ese primer monstruo enormemente ineficiente y goteante fue transformado en el caballo de batalla universal en las fábricas nacientes de las naciones. La aparición de la fuerza de vapor fue entonces una consecuencia de las continuamente cambiantes relaciones entre la tecnología y la ciencia, y desempeñó quizás el mayor papel en lo que Eric Hobsbawm llamó "la transformación más fundamental de la vida humana en la historia del mundo registrada en documentos escritos". Fue un levantamiento social de la más extrema complejidad, y somos afortunados de que nuestro objetivo no sea otro que un brevísimo bosquejo de su influencia fundamental en el laboratorio de investigación-y-desarrollo industrial moderno.

Las principales innovaciones tecnológicas de los inicios de la Revolución industrial (aproximadamente hacia 1760) fueron proporcionadas por artesanos iletrados, constructores de canales, constructores de molinos, fabricantes de hierro y herreros, que laboraban en el campo. El auténtico carácter revolucionario de sus inventos y mejoras radica en el hecho de que por primera vez fueron ideados no para los pocos privilegiados, sino para el uso diario de la gente común (e igualmente, claro está, para hacer negocio). En un tiempo notablemente corto lograron la sustitución del trabajo animal y humano por artefactos mecánicos impulsados primero por agua y después por vapor. (El énfasis en esta tendencia no intenta en ninguna forma oscurecer las terribles condiciones que inmediatamente re-

sultaron de la nueva dominación del pueblo por el ritmo de las máquinas.) La rápida aceleración de la producción industrial, una de las principales características del periodo, fue principalmente consecuencia de la combinación de estos adelantos técnicos simples con el profundo cambio organizativo que reunió numerosas unidades productivas pequeñas —que por incontables generaciones habían estado dispersas en los pueblos rurales— para formar las grandes fábricas urbanas. Este sistema requirió de una división del trabajo claramente estructurada, con mayor disciplina, regularidad y rutina; ello difundió "actitudes racionales" y "métodos científicos" por toda la industria y más allá de ella.

El proceso de industrialización ocurrió primeramente en Gran Bretaña, y el sector clave en un principio fue, sin duda alguna, el de los textiles de algodón. En esa época el algodón en bruto podía exportarse a bajo costo de las nuevas plantaciones norteamericanas; aparecieron mercados extranjeros para los bienes manufacturados que se ampliaron rápidamente, al igual que los locales; y la reorganización de las técnicas tradicionales junto con los nuevos lineamientos pronto se mostraron capaces de satisfacer la demanda. En esa forma la principal fuerza conductora tras los cambios económicos no era científica, sino económica. La producción de telas de algodón aumentó cinco veces entre 1766 y 1787, un periodo que vio la aparición de las justamente famosas invenciones, la *spinning jenny* [máquina de hilar de husos múltiples], la *water-frame* [máquina de hilar continua movida por agua] y la *hybrid mule* [telar torcedor] que aceleraron espectacularmente el hilado del algodón, y la lanzadera volante y los telares de potencia que revolucionaron el tejido. Estas máquinas no debían nada a la ciencia teórica, y en este aspecto la industria textil fue representativa de la temprana revolución industrial en su totalidad.

Sin embargo, hacia la segunda mitad del siglo XIX, el equilibrio estaba cambiando. La producción de tela depende de otros procesos además de los mecánicos de hilado y tejido, como son los de blanqueado y teñido. Fueron estos últimos los que proporcionaron la oportunidad para el compromiso sistemático de los científicos con el conocimiento teórico específico. El caso de la industria alemana de teñido sintético es particularmente instructivo. Aunque el químico inglés William Perkin produjo (accidentalmente) el primer tinte artificial resistente a la decoloración, el *malva*, derivado del alquitrán de carbón, fueron los alemanes los que se dieron cuenta del potencial económico del descubrimiento e invadieron el campo en gran forma. Para 1900 tenían completo control de éste, proporcionando algo así como el 90% de todos los tintes sintéticos en el mundo entero.

Superficialmente este suceso extraordinario fue el resultado de la maquinaria industrial alemana, magistralmente organizada y mo-

tivada económicamente. En forma más fundamental, reflejó su determinación de vencer un arranque tardío en la industrialización aplicando directamente lo que ya era su preeminente experiencia científica. Su capacidad para lograrlo fue a su vez una consecuencia de la atmósfera competitiva y dinámica que se generó en las universidades alemanas durante el siglo XIX (contrastando con el *laissez-faire*, el amateurismo y la complacencia de Gran Bretaña), y específicamente de la alta calidad y cantidad de la enseñanza e investigación en química orgánica bajo el liderazgo pionero de Justus Leibig, quien estaba entregado al ideal de ver aplicada su química.

El desarrollo de la industria eléctrica fue otro ejemplo. Los descubrimientos de los científicos pioneros, Davy, Faraday y otros, tomaron algún tiempo para encontrar aplicación, y en un sentido importante la máquina de vapor —ese símbolo de "progreso" del siglo XIX— formó parte de los desarrollos prácticos en electricidad que aparecieron con el tiempo. La máquina fue rápidamente adaptada para usarse en locomotoras y, más tarde, para hacer funcionar generadores eléctricos. La invención del telégrafo eléctrico (1837) fue importante para el señalamiento en los ferrocarriles y pronto se encontró uso para él en las comunicaciones en general. La última consecuencia de esto fue quizás la invención del tubo electrónico por Tomás Alva Edison, que abrió paso al contacto "inalámbrico", lográndose por primera vez una comunicación de este tipo a través del Atlántico en 1901.

Las primeras aplicaciones comerciales para la dínamo, un descendiente directo de los experimentos de Faraday, se realizaron en la galvanización y el alumbrado eléctricos. Este último fue usado inicialmente en lugares aislados como los faros, en donde un generador podía remplazar las baterías. Sin embargo en 1879, Alva Edison en América y Joseph Swann en Inglaterra, independientemente, desarrollaron la lámpara de filamento al vacío, a partir de una idea primitiva proporcionada por Davy. Este nuevo camino creó una demanda del consumidor sin precedentes, aumentó el trabajo con el fin de distribuir energía eléctrica, especialmente en el General Electricity Research Laboratory (1906) en Estados Unidos, y provocó el auge en las industrias eléctricas que en unas cuantas décadas dieron satisfacción a múltiples y hasta entonces no soñadas aplicaciones.

Al nacer el nuevo siglo los ejemplos de industrias eléctricas y químicas ya no eran algo excepcional; se aprendía cada vez más la lección de la iniciativa alemana. En el futuro la ciencia podría ser la compañera inseparable de la tecnología en la industria, y cualquiera que fuera incapaz de hacer un adecuado uso táctico y estratégico de esta nueva situación tendría que pagar un alto precio en el cada vez más competitivo mundo comercial.

La tecnología y la sociología de la ciencia

La convergencia a gran escala de ciencia y tecnología empezó, según hemos visto, con el laboratorio industrial de investigación y desarrollo hacia finales del siglo XIX, una corriente iniciada en Alemania y seguida rápidamente en Estados Unidos, y después en Gran Bretaña y otros países. La investigación industrial aplicada fue posible por el surgimiento del científico "profesional", quien había recibido un entrenamiento especializado y prolongado, y al que por primera vez se le reconocía una importante función social. El laboratorio de investigación y desarrollo fue el efecto, no la causa, de relaciones más estrechas entre la tecnología y la ciencia, aunque una vez aceptado aceleró de manera espectacular su interdependencia. Después de eso, la simbiosis industrial se volvió autoeternizante, ya que era cada vez más peligroso para los gobiernos y para las compañías comerciales quedarse atrás en la carrera de la competencia de nuevos productos y procesos técnicos. Pronto se apreció que éstos podían lograrse únicamente a través de la actividad innovadora de la investigación científica y tecnológica organizada.

Los resultados en el siglo XX de esta estrecha unión de la ciencia y la tecnología son demasiado numerosos y muy bien conocidos para precisar repetirlos. Será suficiente si rápidamente examinamos los ejemplos de la industria de la aviación y el desarrollo de la energía nuclear.

Toda una generación de aeronaves con motores de pistón y hélices propulsoras se desarrolló desde las primeras y sensacionales pruebas de vuelo de los hermanos Wright en Carolina del Norte (1903), pero fue el imperativo de la defensa nacional el que abatió el conservadurismo de los diseñadores de máquinas aéreas hacia finales de los treinta e impulsó el trabajo en la turbina de gas. El primer diseño británico fue proyectado en 1928 por un joven ingeniero, Frank Whittle, quien escribió que "la turbina es el más eficiente motor primario conocido" y podía "desarrollarse para la aviación, especialmente si se inventaran algunos medios para mover una turbina con gasolina". Es significativo que el plan básico de Whittle se basó extensamente en su conocimiento teórico de la termodinámica, de manera que podía aplicar los principios fundamentales de la física a detalles de diseño. Aún más, su motor requería del uso de las nuevas aleaciones resistentes al calor que en ese entonces sólo eran producidas por una ciencia metalúrgica relativamente nueva. Pero es obvio que las ideas de Whittle no hubieran sido implantadas sin un apoyo financiero sustancial y sin habilidad tecnológica. Hubo una larga serie de problemas técnicos y peligros de desastre antes de que el primer jet británico volara en 1941. Para ese tiempo los alemanes por su lado habían construido un motor similar, y pa-

rece que su ventaja de dos años sobre los británicos, que pudo haber sido decisiva en el avance de la guerra, se perdió por un apoyo tecnológico inadecuado.

La tecnología de la industria de la aviación y sus relaciones con la ciencia de la aerodinámica es en muchas formas un paralelo moderno con la historia de la máquina de vapor y la termodinámica en el siglo XIX. Los orígenes empíricos de la aviación promovieron en un principio estudios teóricos de fenómenos como la turbulencia del aire, la resistencia y la aerodinámica. Una vez que todos estos principios físicos fueron confirmados, se aplicaron rápidamente para perfeccionar el producto terminado.

Nadie discute que los orígenes de la industria de la energía nuclear están profundamente arraigados en las teorías primordiales sobre la naturaleza de la materia y la energía. Habiendo dicho esto, tiene poca importancia que tomemos como "el principio" las implicaciones del "número" atómico que aparecen en la tabla periódica de los elementos de Mendeleev (1869); el descubrimiento del electrón en 1879 por J.J. Thomson, que demostró que el átomo no es indivisible; o el descubrimiento del neutrón en 1932 por James Chadwick, que forzó la conclusión de que lo mismo podía considerarse para el núcleo del átomo. Ciertamente el neutrón tenía una importancia especial e inmediata, ya que se trataba de una "partícula" sin carga eléctrica y que por lo tanto podría ser usada para "bombardear" el núcleo de otros átomos sin sufrir las alteraciones producidas por la atracción o la repulsión. En manos del físico italiano Enrico Fermi —que para ese entonces había huido de Mussolini para establecerse en Chicago—, el neutrón se convirtió en un instrumento poderoso con el que el sueño de los alquimistas sobre la transmutación de los elementos podía al fin realizarse. Bombardeando el más pesado de los elementos "naturales", el uranio, Fermi produjo un elemento hecho por el hombre, el plutonio. Al hacerlo logró, según se lee en la placa conmemorativa, "la primera reacción en cadena autónoma y, por lo tanto, inició la liberación controlada de energía nuclear" (1942). La *pila de uranio-grafito* de Fermi iba a ser el modelo sobre el que se basarían los primeros reactores nucleares comerciales. La primera estación británica de energía en Calder Hall empezó a generar electricidad en 1956 (aunque debe decirse que su propósito original en esa época era la producción de plutonio para armas nucleares). El principio básico de un reactor *térmico* como éste es la *fisión*, o rompimiento, de los átomos del isótopo uranio 235. Cuando esto sucede se libera una enorme cantidad de energía, junto con ciertos "productos de fisión", entre los que se cuentan los neutrones. Estos neutrones pueden, bajo condiciones cuidadosamente controladas, causar la fisión de otros átomos de uranio 235 y así iniciar "una reacción en cadena" por medio de la cual

se logra un abastecimiento continuo de energía. El calor producido durante la operación del reactor es eliminado con agua circulante o con dióxido de carbono y se usa para convertir agua en vapor para generar electricidad.

En el mundo moderno, el diseño y la construcción de aeronaves (incluyendo las naves espaciales) y de estaciones de energía atómica se lleva a cabo dentro de industrias enormes con investigación intensiva, que manejan elevados presupuestos y emplean una cantidad inmensa de personal altamente capacitado. Todos estos individuos están, en el sentido más amplio y más realista, trabajando conjuntamente en la ciencia aplicada; únicamente una distinción arbitraria podría separarlos en científicos por una parte y tecnólogos por la otra.

Lo cierto respecto a esas personas es que están sujetas a motivos y presiones muy diferentes de los de aquellos relativamente protegidos del mundo de las universidades. No sólo se desvanecen las distinciones tradicionales entre ciencia y tecnología, ciencia básica y ciencia aplicada, sino que también las disciplinas académicas específicas y bien establecidas quedan poco definidas en la contagiosa atmósfera de colaboración interdisciplinaria para el bien de la compañía. ¿Cómo afecta la diferencia en el medio laboral las actitudes hacia el trabajo? ¿Siente el científico aplicado un compromiso hacia normas que son diferentes de las del *ethos* idealizado de la ciencia, o de una red de investigación particular? Todavía sabemos relativamente poco de estos asuntos, aunque el tema es importante para la sociología de la ciencia (típica del siglo XX), y bien vale la pena que nos detengamos un poco para examinar lo que se ha averiguado hasta la fecha.

En razón de que los antecedentes básicos y la preparación del científico industrial moderno son usualmente los mismos que los del científico puro, varios sociólogos estadunidenses de tradición mertoniana han supuesto que aquél es víctima del conflicto entre dos "culturas" opuestas, la de la ciencia pura y la de la administración, respectivamente. De acuerdo con este punto de vista, el científico industrial difícilmente sabe qué camino tomar, ya que el mismo periodo de socialización durante su preparación universitaria le ha enseñado a identificarse con el *ethos* cosmopolita de la ciencia pura, con su fin último de incrementar el conocimiento, mientras que la realidad de su empleo lo fuerza a ser leal —en un nivel mucho más local— a los objetivos prácticos de su compañía y a "ideales" tales como solidez financiera y organización jerárquica no-igualitaria. El interés y las tensiones no raros en la administración del laboratorio industrial se explican en estos términos, y el científico industrial es, al menos por implicación, visto como un académico frustrado y fallido.

Las limitaciones de este punto de vista han sido destacadas en una

encuesta empírica conducida en Gran Bretaña por N.D. Ellis, en la que un muestreo de científicos académicos e industriales y de tecnólogos (la mayor parte de ellos ingenieros) fueron interrogados directamente sobre lo que *ellos* pensaban de sus condiciones de trabajo. El cuadro 2 resume los resultados. A los interrogados se les pidió responder a dos preguntas sobre cada una de las condiciones en la lista (A-L); primeramente: "¿qué tan importante considera usted ese punto para su satisfacción general de trabajo?" y en segundo lugar: "¿qué tan satisfecho se encuentra usted actualmente con cada una de las condiciones?". En el cuadro, los números abiertos indican las respuestas, dentro de un rango 0-100, a la primera pregunta (esto es, grado de importancia), y los números entre paréntesis indican las respuestas a la segunda (grado de satisfacción). El cuadro contiene una considerable cantidad de información que bien vale la pena estudiar. Así, los resultados más altos proporcionados por los académicos en condiciones C, E, H, I y L parecen confirmar su relación con el *ethos* de la ciencia pura. En contraste, los bajos resultados de los científicos industriales sugieren que, cualesquiera que hayan sido sus puntos de vista apenas egresados de la universidad, no sentían esa adhesión, siendo significativamente más pragmáticos en cuanto a orientación; la mayoría aceptó gustosa la lógica de la investigación industrial y muchos se mostraron, en realidad, hasta ignorantes de que la ciencia pura pudiera tener un *ethos* moral de cualquier tipo. Para la condición D (oportunidad de ganar experiencia administrativa) hubo una puntuación notablemente baja para los académicos, pero una razonablemente alta para los industriales; evidentemente el papel de administrador fue considerado de alta estima por estos últimos, que lo veían como un camino más obvio para la promoción y como un medio para alcanzar una perspectiva más amplia de su trabajo técnico, así como una mayor pertinencia.

Una diferencia más sobre la actitud hacia la administración surgió del estudio de Ellis: ésta apareció entre los científicos y los tecnólogos que trabajaban para la industria. El graduado en ciencia pura que por primera vez entra en la industria está a menudo mal preparado para afrontar las condiciones poco familiares, particularmente en comparación con el graduado en tecnología, cuyo entrenamiento lo ha preparado mejor para el medio industrial. Como resultado, el científico se siente poco aprovechado (véase condición G), encontrando que está poco valorado como el especialista científico que creía ser, y al mismo tiempo mostrando dificultades para ajustarse a su nuevo papel como tecnólogo. Nuevamente por comparación, el graduado en tecnología rápidamente se identifica con su posición claramente designada en la industria y con ventajas consecuentemente más altas que el científico en condiciones que indi-

CUADRO 2
DIMENSIONES DE SATISFACCIÓN EN EL TRABAJO: ÍNDICES COMPARATIVOS PARA CIENTÍFICOS Y TECNÓLOGOS EN INVESTIGACIÓN INDUSTRIAL Y EN UNIVERSIDADES

	Científicos				*Tecnólogos*			
	Universidad		*Industria*		*Universidad*		*Industria*	
A Salario	55	(31)	77	(50)	81	(40)	76	(52)
B Cantidad y calidad del personal asistente	79	(47)	78	(38)	65	(40)	63	(39)
C Cantidad de tiempo libre para investigación privada	90	(74)	38	(49)	73	(66)	38	(65)
D Oportunidades para obtener experiencia en administración	20	(64)	63	(37)	32	(64)	55	(41)
E Prestigio de este departamento en el mundo científico-tecnológico	60	(51)	43	(50)	67	(37)	51	(60)
F Perspectivas de promoción en una escala de carrera de investigación	60	(49)	75	(44)	70	(38)	91	(54)
G Extensión hasta donde se utilizan plenamente mi aptitud y mi experiencia	81	(84)	94	(47)	95	(70)	85	(65)
H Oportunidades para proseguir una investigación básica en mi campo	90	(83)	33	(60)	70	(85)	49	(65)
I Libertad para escoger mis propios proyectos de investigación	88	(96)	51	(49)	80	(85)	54	(56)
J Grado de libertad que tengo para manejar mi propio trabajo	96	(93)	91	(63)	88	(93)	90	(79)
K Oportunidad para asistir a reuniones-conferencias científicas o técnicas	72	(60)	65	(51)	70	(45)	60	(67)
L Oportunidad para trabajar con tecnólogos o científicos de alta reputación	63	(77)	44	(49)	72	(38)	50	(61)
Número de entrevistados	50		118		40		75	

FUENTE: Modificado de N.D. Ellis, "The Occupation of Science", en *Technology and Society*, núm. 5, 1969, p. 40.

can apego a su especialización original (E, F, H, I y L). En parte como consecuencia de su aparente inseguridad, al entrar en la industria el científico está más ansioso que el tecnólogo por escapar del laboratorio hacia otros departamentos de la compañía en donde pueda quizás encontrar un puesto directivo.

En resumen, la encuesta de Ellis no apoya la suposición teórica de que cualquier desencanto por parte de los científicos dentro de la industria es resultado de su apego al llamado *ethos* de la ciencia pura. Los científicos industriales, que son la gran mayoría de los científicos, aparentemente no actúan de acuerdo con ese código, y fueron trabajos como el de Ellis los que primero cuestionaron la idea misma de explicar la ciencia en términos de socialización dentro de *normas y valores*. ¿Podría ser que este modelo de acción tan ampliamente reverenciado esté totalmente equivocado después de todo? Si es así, entonces lo más seguro es que vuelva a plantear la controversia que, durante los inicios de los años setenta, empezaba a surgir en torno al mundo académico. Era una controversia importante porque subrayaba discrepancias profundas entre las idealizadas consideraciones de la ciencia (que tanto gustan a los filósofos y a algunos historiadores) y el panorama "realista" derivado por los sociólogos de evidencias con base empírica de lo que realmente parece ocurrir. No mucho después de la publicación del estudio de Ellis, se empezaron a acumular más datos que también amenazaban el modelo tradicional, datos provenientes no sólo del campo industrial sino también de algunos de los más "puros" campos de la investigación científica. Estaba en marcha algo así como una revolución.

El desarrollo de esta sociología de la ciencia no mertoniana es ahora un asunto mayor, aunque la escuela misma continúe aún en su infancia. Antes de que pueda alcanzar la madurez, primero tiene que vencer una tradición articulada e influyente, la cual, en efecto, aún argumenta que cualquier estudio *social* de la actividad científica sólo puede tratar los aspectos periféricos, "no-científicos" de esta última; que las oportunidades para una "sociología de los contenidos conceptuales y teóricos de la ciencia son extremadamente limitadas". En ocasiones, la deducción ha sido que los investigadores que usan técnicas sociológicas se comprometen en poco más que en el tráfico sofisticado de chismes. Como resultado, no es sorprendente que el tema haya generado resentimientos en ambas partes, por ejemplo el de Steven Shapin quien, en una vigorosa defensa del nuevo enfoque, rechaza las reservas y críticas de varios eruditos distinguidos, diciendo que para ellos "es ya muy tarde, ya que la sociología histórica del conocimiento científico ha seguido adelante sin ellos". Es posible que las actitudes opuestas puedan compararse a los "modos incompatibles de la vida comunitaria" de Kuhn; al menos hay comúnmente una brecha generacional discernible entre las faccio-

nes contendientes. Para algunos eruditos "tradicionales", la evaluación de paradigmas competitivos en términos diferentes a las nociones abstractas de deducciones lógicas no podía en ninguna forma haber producido el coherente, ampliamente aceptado y relativamente perdurable cuerpo de conocimientos llamado ciencia. Para los estudiosos más "progresistas", la motivación para los científicos provistos de fines, objetivos e interes particulares —así como de consideraciones racionales— produjo una relación inmensamente más plausible de acontecimientos históricos.

De acuerdo con este nuevo enfoque, los paradigmas no son considerados por los científicos simplemente como montajes de teorías abstractas, sino más bien como recursos o instrumentos (a veces se habla del nuevo modelo como "instrumental") que pueden realmente usarse para *hacer* cosas. Lo que se haga depende de cómo consideren los científicos a los cuerpos particulares de conocimiento, ya que sus actitudes, se argumenta, deben seguramente estar afectadas por los intereses sociales de su grupo, como la necesidad de resolver unos enigmas en vez de otros, el interés en la imagen profesional del grupo, o la disponibilidad que éste tenga para sus logros.

Aun el mismo Shapin afirma que "el camino a seguir [...] hacia una sociología del conocimiento científico totalmente desarrollada no es reconocido generalmente", y está fuera de los límites de este libro intentar identificarlo. Sin embargo, unos pocos ejemplos breves de recientes trabajos aclararán la situación actual mucho mejor que sólo generalidades. Un estudio particularmente extenso aparece en el libro *Laboratory life* (1979) de Bruno Latour y Steve Woolgar, el cual representa un ataque de enfoque "antropológico" a los trabajos de un famoso laboratorio de neuroendocrinología, el Salk Institute for Biological Studies, en California. Fue hecho con el objeto de revelar, como lo indica el subtítulo del libro, "la construcción social de hechos científicos", en la medida en que se concentra en el *proceso* por el que los científicos dan sentido a sus observaciones.

El método adoptado fue "análogo al de un intrépido explorador de la Costa de Marfil", en donde un no-científico perspicaz (Latour) dirigió entrevistas y, más particularmente, hizo observaciones detalladas durante un periodo de 21 meses sobre las actividades diarias de los científicos en el gabinete de laboratorio. En esta forma se demostró que era posible identificar los medios principales con los que se ponía orden en el desorden inicial, pero significativamente era al mismo tiempo imposible separar los asuntos "técnicos o intelectuales" de los intereses sociales más amplios que mostraba el equipo de investigadores. En términos simples, se considera que una investigación como ésta le quita a la ciencia todo vestigio de la

enmascarada mitología que heredó de las consideraciones parciales de los filósofos.

Otros casos recientes de análisis no-mertonianos han subrayado también los aspectos prácticos de la vida científica, concentrándose especialmente en las razones por las que algunas operaciones han sido apoyadas y otras ignoradas. Entre ellas se incluyen, por ejemplo, la controversia técnica entre los botánicos sobre la forma correcta de clasificar las plantas, la cual refleja diferencias socialmente adquiridas en cuanto a medio ambiente y adiestramiento (esencialmente las que existen entre los taxonomistas herbáceos y los experimentalistas modernos); una lucha en los albores del siglo XX entre una rama altamente sofisticada de estadística matemática, en la que evidentemente habían influído los compromisos de los protagonistas con asuntos sociales más amplios, y en especial el programa eugenésico (mejoría de la raza) que estaba de moda en la época, y las discusiones entre los investigadores franceses del siglo XIX sobre la posibilidad de la generación espontánea de la vida, la cual ostensiblemente implicaba la cuestión "interna" de qué era lo que debía, en ciertas circunstancias, considerarse como un experimento adecuado, pero que en un análisis más profundo mostraba reflejar actitudes tanto morales como políticas sobre el asunto filosófico "externo" del materialismo. Otro caso podría ser las interpretaciones contrastantes de los datos de la física moderna mencionados en el capítulo precedente, mientras que un considerable cuerpo de literatura reciente se ha referido a las relaciones históricas cambiantes de la comunidad científica con la Iglesia.

En todo caso, es imposible no estar de acuerdo con Shapin en que esta nueva tradición en la sociología de la ciencia representa ahora "algo más que un conjunto de reflexiones teóricas y programáticas sobre lo que pudo haber sido; es también un conjunto de logros prácticos" y, verdaderamente, un área de intenso interés entre los eruditos modernos. Shapin ofrece una extensa bibliografía al final de su artículo.

Innovación tecnológica

La encuesta empírica de Ellis que hemos discutido mostró que muchos científicos explicaron su posición marginal en la industria —es decir, como aquellos a quienes se les puede tener confianza en asuntos técnicos, pero no en las intrincadas sutilezas de la política comercial— en relación con una tradición educativa británica que sistemáticamente ha subestimado los atractivos positivos de las carreras tecnológicas.

Se ha argumentado que otro fruto de este sistema educativo es

la división relativamente aguda que hace la mayoría de la gente entre las comunidades científicas y las tecnológico-comerciales. Se dice que esta aparición sirve de base para la muy lamentable ausencia de lazos estrechos entre la ciencia pura y la aplicada. La importancia de este problema está en su relación con la pregunta acerca de cómo surgen realmente las innovaciones industriales o productoras de bienestar. ¿Logran los descubrimientos hechos durante las investigaciones fundamentalmente "guiadas por la curiosidad" llegar inesperadamente a aplicaciones útiles? ¿O bien es necesario algún "fin" especificado que dé a la investigación básica la dirección requerida para alcanzarlo? Estos dos enfoques son a veces conveniente y respectivamente etiquetados como los modelos de innovación tecnológica "empuje-hacia-el-descubrimiento" y "tirón-de-la-necesidad"; o bien cualquier conocimiento acumulado se abre paso hacia su aplicación, o la demanda percibida tira hacia la investigación apropiada. En el libro *Wealth from knowledge* (1972) de J. Langrish y otros, estas dos posiciones extremas son primero citadas y luego subdivididas, en ningún sentido como esquemas definitivos, sino más bien como base para demostrar que en la práctica "muy pocas [innovaciones] entran en cualquiera de los dos modelos mencionados". Una declaración clásica de los modelos del empuje-hacia-el-descubrimiento —al parecer con el objeto de justificar la investigación pura— es la que hizo P.M.S. Blackett cuando era presidente de la Royal Society: "En forma esquemática simplificada, la innovación tecnológica de éxito puede describirse como aquella constituida por una secuencia de pasos relacionados uno con otro: ciencia pura, ciencia aplicada, invento, desarrollo, construcción de prototipos, producción, estudio de mercado, ventas y ganancias." La opinión opuesta es expresada por J.H. Hollomon del U.S. Department of Commerce: "La secuencia —necesidad percibida, invento, innovación (limitada por factores políticos, sociales o económicos) y difusión o adaptación (determinada por el carácter organizativo y por el incentivo de la industria)— es una de las que encontramos más frecuentemente en la economía civil regular." La habilidad crítica de Langrish y sus colegas es importante porque destaca que estos esquemas alternativos son, necesariamente, flagrantes sobresimplificaciones de lo que realmente ocurre. Identificarse estrechamente con cualquiera de ellos sería caer en la trampa de confundir el modelo con la realidad, y pocos observadores creen actualmente que semejantes esquemas lineales puedan servir para algo más que guías muy simplificadas. Cuando se les analiza cautamente en esta forma, algunas de las investigaciones han sugerido de hecho que el tirón-de-la-necesidad es dos o tres veces tan efectivo como el empuje-hacia-el-descubrimiento, aunque se reconoce que los cambios tecnológicos más amplios tienden a ser del último tipo.

La mayoría de los estudios que se han hecho hasta la fecha muestran que las condiciones que promueven la innovación tecnológica se extienden en forma mucho más amplia que los virtuosismos científicos o técnicos. Al menos debe prestarse la misma atención a los factores externos que a los del laboratorio mismo. Por ejemplo, el reporte titulado *Technological innovation in Britain*, publicado en 1968 por el Central Advisory Council for Science and Technology, encontró cinco factores de importancia extraordinaria: la liga directa de las actividades de investigación y desarrollo con otras funciones de la empresa; la planeación de programas de innovación sobre la base de investigación de mercados; la presencia de una directiva orientada comercialmente así como técnicamente eficiente; el logro de intervalos de tiempo cortos entre la iniciación de una investigación y el mercadeo del nuevo producto, y finalmente, una relación realista entre los costos de lanzamiento del producto, su capacidad de producción y el tamaño del mercado. En una palabra, el énfasis está dado a la orientación comercial del proceso de investigación y desarrollo como un todo, lo que parece ser una clara defensa para el tirón-de-la-necesidad. (Esta conclusión fue la más asombrosa por el hecho de que el reporte mencionaba que la investigación básica era "la fuente de todo conocimiento".)

Una de las recomendaciones generales de la publicación del Advisory Council fue que algunos científicos y tecnólogos debían desplegarse en etapas de innovación distintas a las de investigación primaria y desarrollo, por ejemplo en producción y estudio de mercado. El sociólogo Joseph Ben-David dice, para dar mayor apoyo a las ventajas del tirón-de-la-necesidad, que la "relación de los problemas económicos y tecnológicos con la investigación fundamental es más predecible que la que hay entre la investigación fundamental y una innovación tecnológica económicamente útil". Por consiguiente, "la forma óptima para incrementar los usos de la ciencia no es [...] seleccionar proyectos según su supuesta promesa de aplicabilidad, sino incrementar la motivación y las oportunidades para encontrarle uso a la ciencia, y descubrir problemas prácticos que puedan estimular la investigación". Esto podrá lograrse mejor mediante una muy difundida y vigorosa interacción entre las ideas y los problemas del laboratorio y el mundo de la administración, una interacción a la que Ben-David ve como una función de *empresarios* que puedan explotar los adelantos teóricos de los científicos y someterlos a la atención de los tecnólogos y los directores, quienes reconocerán en ellos su potencial práctico. Esto es reconocer nuevamente la influencia estimulante de una diversidad de papeles y en este sentido no hay diferencia entre una efectiva política de la ciencia utilitaria y una política para la ciencia pura como la expuesta por Mulkay.

ASPECTOS POLÍTICOS Y ECONÓMICOS DE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO

En la sección previa sobre tecnología y sociología de la ciencia ubicamos a las industrias de la aviación y del poderío nuclear como representativas de la interdependencia contemporánea entre ciencia y tecnología. Pero cualquier empresa masiva como éstas tiene necesariamente implicaciones que se extienden más allá del campo de la teoría y de la técnica, y es justamente en relación con esto que hemos llegado a hablar de los "imperativos de la tecnología" en la sociedad moderna. El creador de esta expresión fue el economista estadunidense J.K. Galbraith. En su obra germinal, *The new industrial state* (1966), Galbraith argumenta que son las demandas de la tecnología las que, más que ningún otro factor, determinan los mayores movimientos en la economía, la ciencia y en la sociedad en general. En los países capitalistas, sólo las grandes corporaciones de negocios tienen capacidad financiera suficiente para sostener la esencial, pero riesgosa, investigación tecnológica y los programas de desarrollo, que son los únicos que pueden promover el cambio. El mensaje general de Galbraith ha sido adoptado ampliamente. Christopher Freeman, por ejemplo, asegura que

> para cualquier técnica dada de producción, transporte o distribución, hay limitantes de largo plazo en el crecimiento de la productividad, que están determinadas tecnológicamente [...] Sin innovación tecnológica, el progreso económico cesaría en el largo plazo, y en este sentido se justifica que la consideremos como primaria.

El mismo Galbraith ataca lo que considera la anticuada imagen de la ciencia que todavía tienen muchos, una imagen que pudo ser satisfactoria en el siglo XIX, cuando era "producto de los esfuerzos individuales de hombres geniales", pero la cual es totalmente inapropiada para la ciencia moderna, que es "una nueva profesión altamente organizada, estrechamente ligada con la industria y el gobierno". Sus logros han sido realizados "tomando hombres ordinarios, informándoles estrecha y profundamente y después, por medio de una organización apropiada, facilitando que su conocimiento se combine con el de otros hombres especializados, pero igualmente ordinarios".

Las relaciones entre ciencia y gobierno destacadas por Galbraith y otros se han vuelto cada vez más importantes durante el siglo XX. La misma base de la moderna economía "mixta" implica una injerencia mayor de los gobiernos en las actividades de investigación y desarrollo. Durante los últimos 50 años ha habido un aumento de diez veces en el gasto total del gobierno, el cual en muchos países

capitalistas equivale ahora a una cuarta parte del producto nacional bruto. Aunque las gigantescas corporaciones privadas pueden realizar investigación sustancial y actividades de desarrollo por su cuenta, si desean seguir siendo fuertes comercialmente a largo plazo deben estar también en posición de ejercer un control considerable sobre sus mercados (por medio de publicidad, investigación de mercado, etc.). En donde esto es imposible, o en donde los productos a desarrollar sólo tienen una salida de mercado (usualmente el gobierno), no hay alternativas para disponer de fondos públicos y sostener la investigación necesaria. Ésta es la razón por la que el diseño y la fabricación de ítems de aplicación militar o para otras aplicaciones estratégicas es tan ampliamente sostenida por las finanzas gubernamentales, aun cuando el trabajo en sí es a menudo llevado a cabo en los laboratorios y talleres de la industria privada. Así, en Estados Unidos, país que desde la segunda guerra mundial ha soportado la mayor parte de los gastos militares de Occidente, más de la mitad de los gastos del gobierno durante los años sesenta se hicieron para proyectos bélicos. Esto fue unas cinco veces mayor que el gasto hecho durante los años treinta. Durante los años setenta, en el despertar de la "victoria" norteamericana en la carrera hacia la luna, la cantidad bajó nuevamente, pero continúa siendo enorme en términos absolutos y en los años ochenta da señales de elevarse nuevamente como resultado de la política del gobierno de Reagan.

El complejo militar-industrial

La inevitabilidad de las relaciones del gobierno con la investigación científica y tecnológica en lo que se refiere a defensa nacional condujo, durante los últimos años sesenta, al surgimiento de un fenómeno conocido como complejo militar-industrial, el cual ha sido estudiado con mayor extensión en Estados Unidos, aunque no por ello debe dejar de creerse que arreglos similares estén operando en todas partes (incluyendo a China y a la Unión Soviética). Las estrechas relaciones entre lo más avanzado en experiencia tecnológica y los requerimientos militares, han sido siempre un rasgo de una nación que se prepara para la guerra. Como lo señala Freeman, en el mundo moderno "la escala y complejidad de [...] la tecnología ha sido llevada a límites extremos en la investigación, diseño y desarrollo de la aviación militar, los misiles y las armas nucleares". Es su enorme tamaño y su poderío económico lo que desata un interés especial, ya que a pesar de reconocer que, en principio, cualquier empresa equivalente en magnitud y en sofisticación tecnológica podría ser suficiente como sustituto para un alto gasto relacionado con lo militar con objeto de mantener la salud de la economía capitalista,

en la práctica no hay signos de alternativas comparables en el horizonte.

La extraordinaria dependencia sobre la llamada economía permanente de armas ha tenido algunas consecuencias importantes para la ciencia y la tecnología. Una que ha despertado considerable alarma es la forma como la tan alabada independencia de las universidades para realizar investigación "pura" ha sido erosionada por la progresiva inclusión de la ciencia académica dentro del ámbito del complejo militar-industrial. Proporciones significativas de la totalidad de los presupuestos de investigación de algunas universidades norteamericanas son proporcionados por el U.S. Department of Defense, que funciona como el "cliente", *contratando* trabajos en laboratorios específicos. Al igual que el gasto militar generalmente, este estado de cosas alcanzó su cúspide en los años sesenta, pero debe decirse que desde ese momento ha encontrado cada vez más oposición y se ha intentado liberar nuevamente a la investigación académica de esa dependencia.

De mayor importancia cuantitativa era la tendencia a que los fondos gubernamentales fueran concentrados en un relativamente pequeño número de compañías contratistas. Por ejemplo, en 1968, unas dos terceras partes de los gastos de investigación del U.S. Department of Defense se concentraba en 100 contratistas (los que, en esa época, incluían a dos prestigiadas universidades), de un total de más de 22 mil. Esto condujo a una alarmante dependencia de esas firmas respecto a las inversiones (de carácter militar) del gobierno, surgiendo así la llamada "relación cerrada", en la cual la mencionada investigación se convirtió, para algunos de ellos, en su única *raison d'être*. Una vez establecidas en esta forma, la existencia de compañías dependientes —meros satélites gubernamentales— ha tendido a ser justificada por la "necesidad" política de investigación sobre sistemas de armamento más sofisticados. Cuando se llega al punto en que cerca del 10% de la fuerza laboral estadunidense —incluyendo, claro, gran número de científicos e ingenieros— depende de presupuestos militares del gobierno, ya no se precisa de la "amenaza soviética" (o de su equivalente en otros países) para asegurar que la investigación sobre armas prosiga en gran escala.

Es obvio que esta situación provoca variadas cuestiones políticas y económicas altamente discutibles. (Algunos de los asuntos específicamente éticos se considerarán en el siguiente capítulo.) Baste decir que existen considerables diferencias de opinión sobre la naturaleza de las relaciones entre la sociedad tecnológica y la creciente *carrera armamentista*. Para algunos, una industria bélica masiva representa el único componente público de gastos, capaz de regular la demanda y evitar ciclos catastróficos de inflación y desempleo. Para otros, la carrera armamentista es simplemente la consecuen-

cia inevitable de la rivalidad internacional entre las grandes potencias, o sólo otro ejemplo de los "imperativos de la tecnología", que determinan los desarrollos militares en vez de responder a ellos. Cualquiera que sea la verdad, hay poco motivo de tranquilidad y mucho de inquietud.

Costos y beneficios

En esta sección nuestro interés se dirige hacia los más simples rasgos de la evaluación de la ciencia y la tecnología en términos económicos. (Éste es un tema muy extenso y los lectores que tengan especial interés en él deberán consultar la bibliografía de este capítulo.) Las nociones de *costo* y *beneficio* se confinan aquí a su aspecto económico exclusivamente.

Desde la segunda guerra mundial, los gastos de investigación y desarrollo en los países industriales han crecido varias veces más rápidamente que los respectivos productos nacionales brutos. En Occidente, la nación líder a este respecto ha sido siempre Estados Unidos, en donde en años recientes, entre el 2 y el 3% del producto interno bruto se ha gastado en esa forma. Entre los países europeos occidentales, y en Japón, el porcentaje es algo menor (cuadro 3). Cuando estas cifras se traducen a "objetivos políticos", se obtiene una idea aproximada de las prioridades nacionales. En el cuadro 4 se puede ver fácilmente que la prioridad principal en los países occidentales con mayor inclinación hacia la defensa de posguerra, ha sido la categoría *seguridad y prestigio nacionales*, que agrupa de modo evidente gasto militar con inversiones y programas nucleares. Sin embargo, entre 1960 y 1980, en la mayoría de los países ha aparecido una declinación en el gasto cuando es expresado en esta forma. En Alemania y Japón, con pequeños presupuestos de defensa, el gasto en "otras" categorías (incluyendo el "avance del conocimiento") ha sido excepcionalmente alto. El "milagro económico", especialmente en Japón, es razonablemente un reflejo del gasto sustancial dirigido específicamente a la investigación de orientación económica.

Nuevamente entre los países occidentales (y Japón) hay algunas diferencias en las proporciones de los gastos totales en investigación y desarrollo que son atribuibles a fondos de los gobiernos y de las industrias privadas respectivamente, aunque con similitudes aún más marcadas. El cuadro 5 muestra, en términos aproximados, qué sectores —el gobierno, la industria privada u "otros" (instituciones de educación superior, fundaciones sin fines de lucro, etc.)— proporcionaron dinero para la investigación y el desarrollo, y qué sector lo gastó. Globalmente se puede ver que, juntos, el gobierno y la

CUADRO 3

RECURSOS DEDICADOS A LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO EN LOS PAÍSES DE LA OCDE COMO PORCENTAJES DEL PIB

	1963-1964	*1971*	*1979*
Estados Unidos	2.7	2.5	2.4
Gran Bretaña	2.3	2.3	2.2
Francia	1.7	1.8	1.8
Alemania	1.4	2.1	2.3
Japón	1.3	1.6	2.0

FUENTE: *OECD Statistics*, París, 1975 y 1981 (simplificadas)

CUADRO 4

PORCENTAJE DE APORTACIÓN GUBERNAMENTAL PARA INVESTIGACIÓN Y GASTOS DE DESARROLLO (SIMPLIFICADOS)

		Seguridad y prestigio	*Económicos, de agricultura, etc.*	*Salud y bienestar*	*Otros*
Estados Unidos	1960	89	3	7	1
	1970	78	7	11	4
	1980	74	3	19	4
Gran Bretaña	1960	80	11	2	8
	1970	49	22	1	28
	1980	61	10	6	21
Francia	1960	69	8	1	22
	1970	51	18	2	29
	1980	50	13	14	23
Alemania	1970	35	9	7	49
	1980	29	12	16	43
Japón	1960	13	33	3	51
	1970	10	23	4	63

FUENTE: *OECD Statistics*, París, 1971, 1975 y 1981.

industria proporcionaron la mayor parte del financiamiento, y que la industria ejecutó casi todo el trabajo. Mientras que las firmas privadas invierten su propio dinero en la investigación casi exclusivamente porque tienen confianza en que, a largo plazo, les volverá bajo la forma de innovaciones productoras de ganancias, los gobiernos están interesados en el lucro también, y además en factores estratégicos y políticos. Así, no es sorprendente que el apoyo para la investigación que no sea de mercado, como defensa, salud, agricultura y transporte, a menudo lo proporcionan los gobiernos por la única razón de que se considera socialmente necesario (esto es, en ausencia de iniciativa privada adecuada). El apoyo para la investigación "fundamental" (a menudo llevada a cabo en las universidades) es

proporcionado también por los gobiernos porque se reconoce que proyectos a largo plazo e inciertos no pueden realmente ser financiados en forma privada; cualquier resultado productivo que se obtenga se considera un dividendo inesperado.

Ya que hemos planteado la escena general en términos de "costos", podemos plantear brevemente la cuestión de mayor interés; ¿están estos gastos de investigación tan sustanciales justificados por sus beneficios económicos? Globalmente y a largo plazo, no puede dudarse seriamente de que la investigación y el desarrollo son productivos. Desde el punto de vista de la empresa individual, el gasto en investigación y desarrollo es una forma de inversión, y así como con cualquier otra inversión, ésta se hace con expectativas de beneficios futuros. La mayoría de los estudios econométricos de crecimiento (digamos, el ingreso per cápita) en los países industrializados identifican el *progreso técnico* como el factor individual más importante. Si el progreso técnico se manifiesta en innovaciones, y si el crecimiento económico se refleja en mejores niveles de vida, la relación entre investigación y desarrollo, por una parte, y los beneficios del consumidor, por la otra, parece haberse logrado. Sin embargo, en algunos casos específicos, una relación causal directa continúa siendo difícil de demostrar, ya que las relaciones entre gastos de investigación y tasa de crecimiento no son en ninguna forma simples. Un notorio análisis, basado en cifras nacionales sobre gastos de investigación y desarrollo y tasas subsecuentes de crecimiento, publicado por B.R. Williams en 1967, parece mostrar una relación *inversa* entre los dos. Así, durante el periodo 1950-1959, Estados Unidos y Gran Bretaña gastaron casi tres veces en investigación, expresado como un porcentaje del PIB, de lo que gastaron Alemania y Japón y, sin embargo, crecieron mucho más lentamente (medidos en un intervalo de cinco años para permitir que se evidenciaran los "beneficios"). Ya que nadie puede pretender que el crecimiento económico se logre directamente *reduciendo* los gastos de investigación, la explicación de sus relaciones debe de hallarse en otra parte. Como podría esperarse de lo que hemos dicho, básicamente se encuentra en los mucho mayores gastos militares (esto es, no-económicos) de los gobiernos de Estados Unidos y Gran Bretaña. Pero existe también el hecho de que los resultados útiles de la investigación ajena son obtenibles inmediatamente por medio de la compra de patentes, con las que se pueden difundir rápidamente las nuevas tecnologías por todo el mundo.

De cualquier forma, como dice Williams, la gráfica muestra en forma sustancialmente clara que los altos gastos de investigación y desarrollo no son por sí mismos una condición suficiente para el crecimiento económico (aunque parece que sí son una condición necesaria). Aun cuando estos gastos se limiten a investigación y de-

CUADRO 5
GASTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO POR DIFERENTES ORGANISMOS EN PAÍSES DE LA OCDE COMO PORCENTAJES DEL TOTAL (SIMPLIFICADOS)

		Origen de los fondos			*Destino de los fondos*		
		Gobierno	*Industria*	*Otros*	*Gobierno*	*Industria*	*Otros*
Estados Unidos	1969	57	38	5	17	70	13
	1979	49	46	5	14	68	18
Gran Bretaña	1968	51	45	4	25	67	8
	1979	41	43	16	21	64	15
Francia	1969	64	30	6	26	58	16
	1979	56	44	0	—	59	—
Alemania	1969	42	58	0	16	65	19
	1979	47	50	3	17	65	18
Japón	1969	28	60	12	11	61	28
	1979	17	59	24	12	58	30

FUENTES: UNESCO *Statistical Year Book*, Nueva York, 1971 y OECD *Statistics*, París, 1981.

sarrollo en los llamados "sectores económicamente motivados", generalmente no tienen una correlación directa con las tasas de crecimiento. Por lo tanto, es claro que ningún modelo lineal simple del tipo

investigación (invención)-desarrollo-innovación-producción-venta-mayores ganancias-mayor inversión-mayor PIB

explicará las complejas redes de factores recíprocos que intervienen. La actividad innovadora no es en modo alguno el único factor esencial para el crecimiento y la obtención de ganancias. Se trata más bien de cuán adecuadamente *usa* un país sus adelantos científicos y tecnológicos con propósitos comerciales, y esto dependerá de juicios cualitativos respecto al mejor equilibrio entre una multitud de factores operativos de mercado. Tampoco es suficiente considerar únicamente las condiciones nacionales, ya que el mercado competitivo para los productos de alta tecnología es mundial.

Esta visión internacional es muy compleja, por no decir otra cosa. Los variados intentos que han hecho los economistas para medir la contribución de la ciencia y la tecnología en el crecimiento económico han tenido sólo un éxito limitado, aunque parecen proporcionar una confirmación general de la casi universal *fe* en la eficacia de la actividad de investigación, mostrando que el crecimiento no puede ser explicado *sin* su contribución. Un problema difícil ha sido que las grandes variaciones en calidad y cantidad de la investigación entre las naciones han hecho que pierdan sentido muchas de las comparaciones llevadas a cabo. Así, mientras que el apoyo masivo de los gobiernos norteamericano, británico y francés a las altas tecnologías aeroespaciales y de reactores nucleares ha proporcionado poca evidencia de ventajas económicas resultantes, el mínimo compromiso del gobierno de un país pequeño como Holanda, que se especializa enormemente en electrónica sofisticada, no se ha reflejado en un estancamiento económico. Alemania y Japón, con modestos gastos militares después de la guerra, han gozado de crecimiento económico rápido y sostenido, mientras que Gran Bretaña, con el gasto de su disuasivo nuclear "independiente", ha quedado gradualmente en la retaguardia. Se puede pensar que la relativa debilidad de Gran Bretaña en el siglo XX es en cierto modo una repetición de su experiencia del siglo XIX cuando, tras un liderazgo industrial temprano, pronto fue rebasada por Alemania y Estados Unidos, principalmente por su error de no invertir en tecnología nueva y mejorada. Después, en tiempos más recientes, los mercados "blandos" construidos en el imperio y en el *Commonwealth* indujeron en la primera nación industrial una sensación de seguridad e invulnerabilidad totalmente injustificada. Algunos economistas especulan en que una experiencia similar le espera a Estados Unidos.

Mientras que las compañías norteamericanas continúen buscando ganancias invirtiendo en mercados extranjeros más accesibles, y mientras el desarrollo industrial económicamente orientado en ese país se retrase por la desproporcionada inversión de fondos y personal especializado dentro de la investigación militar, el país corre el riesgo de ser superado tecnológicamente por Alemania, Japón y otros.

Sea como fuere, la desafortunada realidad parece seguir siendo que la transferencia de una proporción significativa de los gastos de investigación de los gobiernos —de todos ellos— hacia problemas de tipo más valedero socialmente, espera no sólo la disponibilidad de métodos exactos de medida y predicción económicas, sino un cambio radical en el clima político internacional. Mientras tanto, la investigación y el desarrollo continuarán sirviendo a los caprichos de los gobiernos, y las naciones "tendrán la ciencia que se merecen".

7. DIMENSIONES ÉTICAS DE LA CIENCIA

Como parte autoconsciente de la sociedad en su sentido amplio, la comunidad de los científicos ya no puede optar por permanecer fuera de los grandes conflictos morales escudándose en aseveraciones como la de Marie Curie (1867-1934) de que la "ciencia trata de cosas, no de gente". Manifiestamente, en nuestros días la ciencia trata con gente, no sólo indirectamente sino también directamente, y cada vez más existe el peligro de que trate con las gentes *como si* éstas fueran únicamente cosas. Aún más, con el interés cada vez mayor sobre el agotamiento de recursos no renovables y los movimientos de *ecología* que se están desarrollando, ya es muy claro para cualquiera que las "cosas" —tanto las animadas como las inanimadas— en cualquier caso pueden hacer surgir dilemas morales casi del mismo tipo que los provocados por las personas.

La mayor parte de este capítulo se referirá a lo que se llama la ética "aplicada", o sea, a los aspectos morales de algunos procesos científicos modernos particulares. Pero para empezar es necesario construir una plataforma desde donde puedan considerarse esas cuestiones. Para hacerlo tenemos que observar en forma elemental las relaciones éticas más generales entre la ciencia y los valores sociales. Tales relaciones plantean problemas especiales para un escritor, ya que es probable que se sienta inseguro sobre si debe intentar adoptar una postura genuinamente imparcial sobre asuntos de valores, o si no es más realista defender una postura personal, aunque ésta sea completamente partidista. En lo que continúa, el énfasis se ha puesto en la discusión objetiva —excepto cuando se aclara lo contrario—, aunque a estas alturas el lector estará consciente de las limitaciones de la *objetividad* y sabrá cómo responder si detecta elementos de prejuicio personal con los que no esté de acuerdo.

ÉTICA, CIENCIA Y SOCIEDAD

Los antiguos griegos hacían generalmente una distinción entre filosofía natural y filosofía moral, estando la natural dedicada a las cosas y acontecimientos del mundo, y la moral a la conducta y a las aspiraciones del hombre. El mundo natural podía estudiarse empírica y racionalmente, pero las cuestiones morales eran por comple-

to de diferente categoría. En última instancia, pareció que podían ser resueltas por el individuo únicamente invocando sus más profundos *sentimientos* de aprobación o desaprobación, o su intuición sobre lo que era acertado y lo que era erróneo. La distinción entre las cuestiones que estaban sujetas al razonamiento y las que aparentemente no lo estaban, fue decididamente sobredestacada por el filósofo escocés David Hume, quien argumentó que sobre la base de lo que se *ha* hecho no es lógicamente posible determinar lo que *debiera* haberse hecho. El argumento de Hume tuvo gran influencia, y el trabajo del filósofo alemán Immanuel Kant (1724-1804) produjo el efecto de reforzarlo aún más al identificar dos tipos de actividad mental, la razón teórica pura que gobierna las posibilidades de la experiencia humana, y la razón práctica pura que gobierna los actos morales. Hablando simplemente, podemos ver que apoyándose en esta base filosófica surgió la "típica" actitud de principios del siglo XX hacia la ciencia y la ética, de la que se derivó la de Mme. Curie. La ciencia era descriptiva e impersonal, interesada en el mundo "de afuera", mientras que la ética era prescriptiva y personal, interesada únicamente en dirigirnos hacia los actos correctos.

Fue necesario el impacto de la guerra mundial para mostrar que lo que era correcto hacer dentro del mundo cerrado y separado de la ciencia, no lo era necesariamente en el más amplio contexto de la sociedad en general. En esta forma pronto se comprendió que podría haber una lucha entre los intereses impersonales de la ciencia y los más humanos de la sociedad, o al menos que necesariamente debía de haber una *inter*acción. La sociedad —se podía comprender fácilmente— es una comunidad que se mantiene unida predominantemente por la aceptación de normas éticas y de conducta; un rechazo extensivo de estas normas llevaría rápidamente a la desunión y al colapso. Pero la comunidad científica *dentro* de la sociedad en su totalidad está también gobernada y unida por normas éticas —por ejemplo, la obligación de informar los hallazgos con fidelidad— y es únicamente por la aceptación de las normas respectivas, en la medida en que se refieran tanto a la sociedad como a la ciencia, como es posible llegar a un acuerdo sobre lo que constituye a los "hechos" sociales y científicos. (Y principalmente debido a que las normas éticas de la sociedad contemporánea son menos aceptadas que las normas de la ciencia, hay tanto *des*acuerdo sobre qué "hechos" pertenecen a las ciencias sociales al compararlas con las ciencias naturales.)

Cuando existe conflicto entre las normas de la ciencia y las normas de la sociedad más amplia, aparecen problemas del tipo de aquellos con los que estábamos muy familiarizados en los últimos 20 años. Dejando aparte las dimensiones éticas de la actividad de la ciencia misma, que según Merton y otros regula el comportamiento del cien-

tífico *qua* científico, una lucha entre la ciencia y la sociedad obliga al individuo a un examen de sus respectivas lealtades a las *dos* comunidades. ¿Debe buscar la "verdad" tal como es dictada por la ciencia, sin importar en dónde pueda hallarse, sin importar las consecuencias para la sociedad, o bien hay circunstancias en que sus responsabilidades como ciudadano deben trascender sus obligaciones como científico? ¿Hay algo especial en la empresa científica que hace de ella un modelo deseable para ser copiado por la sociedad misma? ¿Podría una sociedad totalmente científica extraer el calor y la belleza que idealmente existen en la profundidad de la experiencia humana?

"CIENTISMO": LA CIENCIA COMO MODELO PARA LA SOCIEDAD

La respuesta a preguntas como las anteriores sólo pueden formularse con una visión particular de la ciencia derivada de una filosofía particular. (Ésta es una de las razones más importantes por las que un estudiante moderno de ciencias tiene mucho que ganar con unos pocos principios esenciales de la filosofía y la sociología de la ciencia.) Aquellos individuos que interpretan la ciencia como nada menos que la "verdad institucionalizada", que ven en ella algo semejante al ideal cartesiano de "pureza" o que aceptan abiertamente las normas morales planteadas en el *ethos* científico de Merton (véase el capítulo anterior) verán sin extrañeza en la comunidad de científicos algo especial y digno de emulación. A diferencia de la mayoría de las comunidades humanas, la comunidad de científicos parece ser democrática, desinteresada, tolerante y, sobre todo, racional. Se la verá con habilidad extraordinaria para alcanzar estabilidad organizada, sin dejar de conservar la libertad para los individuos asociados por confianza mutua. Con semejante serie impresionante de características, la institución de la ciencia parecerá en forma natural el modelo obvio para la organización y para las bases éticas de toda la sociedad, y hasta para una comunidad mundial utópica.

La alta estima de que ha gozado (al menos hasta hace poco) la ciencia en la sociedad moderna es un reflejo de la muy extendida adhesión implícita a los puntos de vista de este tipo general. Añadir la palabra "científico" a la evidencia personal, es darle al argumento un peso de tipo especial; asociarlo con alguna acción es sugerir una respetabilidad especialmente notable. Usar en este sentido imágenes científicas idealizadas como fuente de autoridad ha llegado a conocerse como "cientismo", y la argumentación que lo emplea se describe como "cientista". La literatura cientista se dedica comúnmente a definir la ética como una función de la ciencia. Un buen ejem-

plo de ello es el artículo frecuentemente citado, "A scientific approach to ethics" (1957) de Anatol Rapoport, quien enumera lo que considera como los principios éticos inherentes a la práctica científica. Estos principios son:

> [...] la convicción de que existe una verdad objetiva; de que existen reglas de evidencia para descubrirla; de que, basándose en esta verdad objetiva, es posible y deseable la unanimidad; y de que la unanimidad debe alcanzarse por independientes aceptaciones de convicciones —esto es, por el examen de la evidencia, y no por coerción, argumento personal o invocación de autoridad.

Para Rapoport estos principios son especiales y proporcionan "una base peculiarmente adecuada para un sistema más general" de ética.

El cientismo de Rapoport se funda en una filosofía de tendencia empírica de la ciencia, basada en la creencia de que la verdad objetiva está, por así decirlo, "ahí afuera" esperando ser revelada por las reglas del método científico. Aunque hay muchas variaciones sobre este tema general, la postura ha sido apoyada en forma extensa, y en época reciente por científicos-filósofos como Jacob Bronowski, Michael Polanyi y Jacques Monod. (Incidentalmente, la inclusión de nombres como éstos deberá disipar cualquier idea de que esta actitud hacia la ciencia y la sociedad está necesariamente relacionada con el aspecto político. Aunque la gente con algún interés en estos asuntos tenderá naturalmente a hacerse sus propias ideas sobre lo que podría ser una sociedad ideal, Bronowski era políticamente un socialista, y Polanyi políticamente un conservador.) En su libro, *Chance and necessity: an essay on the natural philosophy of modern biology* (1971) que tuvo tanta influencia, Monod rechaza la afirmación de que la verdad objetiva ("lo que es") y la teoría de los valores humanos ("lo que debería ser") están eternamente en oposición, sobre las bases de que el conocimiento y la ética deben estar inevitablemente ligados por la acción. Sin embargo, todavía desea mantener una distinción radical, argumentando que "ninguna disertación o acción debe considerarse significativa, *auténtica*, a menos que —o en la medida en que— haga explícita y conserve la distinción entre las dos categorías que combina". Al plantear el principio de objetividad como la condición para el conocimiento verdadero, Monod reconoce que éste constituye en sí mismo una elección ética.

> Para establecer la *norma* para el conocimiento, el principio de objetividad define un *valor*: ese valor es el conocimiento objetivo por sí mismo. Consentir con el principio de objetividad es, por lo tanto, plantear la proposición básica de un sistema ético: la ética del conocimiento [...] La ética del conocimiento no se impone por sí misma al hombre; *por lo con-*

trario, es él quien se la impone a sí mismo, haciendo de ella la condición *axiomática* de autenticidad para toda disertación y acción [...] La ética del conocimiento que creó el mundo moderno es la única ética compatible con él, la única capaz, una vez entendida y aceptada, de guiar su evolución.

Ética evolutiva y ecológica

Para Monod, la ética encerrada en la ciencia es la única adecuada para conducir el futuro desarrollo de la sociedad humana y del mundo natural; Monod articula un esquema inflexiblemente científico de la naturaleza. En otra tradición científica, se cree que el estudio de la misma naturaleza revela al hombre patrones que representan la base verdadera, objetiva y "natural" para su propia sociedad. A pesar de la dificultad lógica para extrapolar de una descripción de la naturaleza un precepto para el hombre (a menudo mencionado, según el filósofo G.E. Moore, como la "falacia naturalista"), se argumenta que fenómenos como el "progreso" evolutivo o el equilibrio ecológico son de algún modo intrínsecamente "buenos" para la comunidad humana, ya que esta comunidad es, después de todo, una parte integral del mundo natural. En esta forma, algunas condiciones de cambio o de estabilidad en la naturaleza son sostenidas como modelos deseables para la conducta humana, de modo tal que las acciones que actúan en conformidad con ellas se consideran entonces como las correctas.

La ética evolutiva en su principio, en pleno siglo XIX, buscaba legitimación en los argumentos del *Origen de las especies* de Darwin. Bajo la forma de darwinismo social tuvo impacto considerable en la Gran Bretaña victoriana y en América. Una variedad mucho más sofisticada, carente de los en alguna forma siniestros tonos de la expresión original de Spencer, y ampliando las ideas generales hacia la evolución *sociogenética* o *psicosocial*, fue expuesta en Gran Bretaña desde los años cuarenta, en particular por los biólogos Conrad Waddington y Julian Huxley. El tema central ha sido siempre el concepto de progreso, particularmente por supuesto el progreso del hombre. La dirección general de este progreso es, según se argumenta, discernible en la naturaleza, la dirección es "buena [...] según cualquier definición realista del concepto" y el hombre haría bien en conformar sus aspiraciones y sus instituciones en congruencia con esta tendencia natural.

Desafortunadamente para la ética evolutiva, hubo desde los primeros días una diferencia de opinión entre algunos que, como el mismo Spencer, acentuaban el *fin* de la naturaleza como el más alto grado de perfección y para quienes los medios por los que podría

alcanzarse este fin carecían de importancia, y aquellos como T.H. Huxley, quien adoptó un punto de vista diametralmente opuesto, considerando a la naturaleza como "sanguinaria con dientes y garras", como una fuerza a la que el hombre debe oponerse activamente en nombre del progreso ético en su sociedad. De igual manera, hubo siempre diferencia sobre si el tema central que se derivaría de la evolución orgánica era el de la competencia o el de la cooperación entre las especies. Optar por uno u otro refleja opiniones previas, como las de la fuerza motivadora para la sociedad "ideal", la competencia como receta para el progreso mediante la eliminación de los menos aptos, o la ayuda mutua como garante de la seguridad y de la supervivencia de todos.

Esta cuestión de la supervivencia constituye el interés dominante de la mucho más reciente escuela de ética, fundada por los ecólogos y los conservacionistas. Pero en otros aspectos también hay mucha afinidad con la ética evolutiva. En la ética ecológica, sin embargo, tienen mayor importancia conceptos tales como la armonía, la estabilidad y el delicado equilibrio de la naturaleza como un sistema energético autorreciclable, y existe una clara defensa de éste como modelo para la sociedad humana del patrón estrechamente integrado, ricamente entretejido y "autosuficiente" derivado de una imagen idealizada de la naturaleza. Al mantenimiento de este equilibrio se le ha llamado "la primera ley de moralidad de la naturaleza" y el hombre es considerado inevitablemente como parte —ahora la más importante— de todo el ciclo. Se han expresado temores sobre los peligros de intervenir en el equilibrio, particularmente porque jamás entendemos por completo las consecuencias de lo que hacemos.

Los ecólogos no se han adueñado de la situación, claro está, ya que también hay oponentes vociferantes de la ética ecológica convencional, quienes con Thomas Huxley a la cabeza acentúan las "imperfecciones" y el pródigo desperdicio de la naturaleza, y quienes abogan por trastornar el equilibrio natural en favor de una supuesta ventaja para el hombre. Si llega a ser necesario, esto puede significar hasta intervenir genéticamente para erradicar las "deficiencias" de la selección natural. Como ocurre con la ética evolutiva, tiende a haber en ambas caras del argumento nociones preexistentes de lo que *es* bueno para la sociedad; nociones que en un grado significativo determinan los elementos de la naturaleza que se apoyan para ser admirados o para desconfiar de ellos.

LA CIENCIA AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD

En términos simples, la doctrina que representa la ciencia como mo-

delo *para* la sociedad puede entenderse como un desarrollo natural del *método* expuesto por Descartes. Similarmente, el punto de vista opuesto, la ciencia como una aventura cooperativa interesada en la acumulación gradual de conocimiento en beneficio *de la* sociedad, puede describirse como la aplicación del *Novum Organum* de Bacon. En la opinión cartesiana es la ciencia la que, por así decirlo, tiene la precedencia; en la de Bacon, es la sociedad. Aunque el inductivismo baconiano fue rechazado por el historiador moderno Thomas Kuhn (véase al capítulo 4), la filosofía de este último, y particularmente su noción de verdad, es en algunos aspectos la base para la ciencia pragmática contemporánea. Kuhn, debemos recordar, alega que los hechos primarios de la ciencia se acumulan inevitablemente dentro del contexto y bajo la guía de las estructuras teóricas que llama paradigmas. Los principios absolutos como *verdad* y *confianza* son evitados, permitiéndolos solamente dentro del marco relativista de un paradigma dado. Para Kuhn, la ciencia normal es una especie de actividad monótona parecida a un juego, que intenta solucionar algunos enigmas específicos por medio de reglas particulares, de modo tal que tanto los enigmas como las reglas son definidos por el paradigma al que los científicos en cuestión se adhieren. Una solución a un enigma puede constituir un tipo limitado de verdad; limitado porque es meramente una función de las reglas particulares seguidas; pero el científico no busca, ni pregunta por, cualquier verdad *absoluta*, ya que éste es un concepto que se encuentra más allá de los confines de la ciencia. Según este punto de vista, el científico está guiado no tanto por una comunidad dedicada a un *ethos* de la ciencia refinado y universal como por uno con el que comparte un paradigma común, aunque restringido.

Algunos defensores de esta posición general van más lejos, argumentando no sólo que los científicos fracasan en proseguir *la verdad* como la plantean las normas de un carácter científico, sino también que el mismo carácter no es otra cosa que una concepción idealizada que tiene poco parecido con la realidad (véase el capítulo 6). No es sorprendente que aquellos que sostienen un punto de vista tan profundamente crítico de lo pertinente del carácter de la ciencia "verdadera", generalmente tengan poco que decir en favor de su aplicación más amplia como una base ética para la sociedad. Para esos críticos la ciencia podría servir no como el modelo sino más bien como el servidor de la sociedad, haciéndola que se dirija específicamente hacia la solución de problemas sociales. Consecuentemente contestan con la famosa pregunta negativa de Bacon: "¿Es inútil la verdad?" y recomiendan la aplicación planeada de la ciencia "para dotar la vida del hombre de infinitas comodidades". Hasta la nobleza ética de la ciencia pura es cuestionada implícitamente, ya que ¿no es moralmente preferible buscar el dominio sobre la

naturaleza para beneficio del hombre que investigar el misterio de la naturaleza como un fin en sí mismo?

Desafortunadamente esta importante cuestión fundamental tiende a fracasar ante el problema conocido de la definición de lo *bueno*. Lo que *es* bueno para la sociedad es notoriamente elusivo, porque depende de una multitud de puntos de vista personales, políticos y económicos. Es por esto por lo que en verdad la ciencia moderna tiende, en forma muy característica, a servir a propósitos ambivalentes. Pero en la época en la que aun la más pura ciencia cartesiana no puede escapar de la dependencia del apoyo institucional externo —a menudo de un orden muy alto, como en la física subatómica—, se intenta afrontar esos difíciles problemas. Las cuestiones éticas sobre lo que *debiera* hacerse están inextricablemente ligadas a cuestiones económicas como qué es lo que la sociedad puede permitirse hacer; en otras palabras, la sociedad tiene que elegir.

Criterios de elección científica

La comprensión de que la ciencia moderna debe forzosamente escoger entre aseveraciones en contienda de sus diferentes sectores, parece haberse apropiado considerablemente del interminable debate sobre la deseabilidad y los peligros de una política total y planeada para la ciencia. En Gran Bretaña las dos facciones del debate estuvieron asociadas durante muchos años con los nombres del cristalógrafo Desmond Bernal (un marxista) y del químico Michael Polanyi (un conservador). La obra clásica de Bernal, *The social function of science* (1939) presentó el caso de la planeación de la ciencia en el contexto de las necesidades de la sociedad, recalcando los requerimientos para una adecuada inversión en ciencia y en el uso apropiado de la mano de obra. En su época esto constituyó una tesis radical y hasta amenazadora, provocando numerosos contraataques de parte de la más tradicional escuela de los liberales académicos, entre ellos el libro de Polanyi, *The logic of liberty* (1951). Polanyi se refería no únicamente a lo que él consideraba un peligro para la libertad del científico individual, sino más fundamentalmente al argumento de que cualquier reducción de esta libertad, en nombre de la organización o de la planeación, necesariamente paralizaría a la empresa científica misma. Por esta razón formuló su famoso concepto de la "República de la Ciencia", un sistema autónomo que puede progresar sólo con la guía de algo semejante a la "mano invisible" de Adam Smith: el resultado combinado de todos los actos de una comunidad de individuos libres.

El acontecimiento que socavó esta controversia fue, claro está, la segunda guerra mundial, la cual impulsó rápidamente la compren-

sión de que era necesario conceder prioridades, tales como la dirección del esfuerzo de investigación, ya que los fondos tenían que colocarse de preferencia en los intereses nacionales fundamentales. La aceptación forzada de los científicos de esta nueva situación durante la guerra continuó durante la paz subsecuente, en forma tal que la pertinencia del caso Polanyi se restringió al sector cada vez más reducido de la ciencia "pura", y como algo diferente de la ciencia como un todo. En consecuencia, la cuestión referente a la planeación de la ciencia se replanteó. Ya no se dudaba de que la ciencia *debía* planearse; más bien era asunto de decidir sobre qué bases iba a planearse.

Probablemente la base más influyente para la política científica ha sido la que sugirió en 1963 el distinguido físico norteamericano Alvin Weinberg, en ese entonces director del Oak Ridge National Laboratory en Tennessee. Weinberg se dedicó explícitamente al problema de cómo podrían establecerse prioridades para la consolidación de proyectos científicos. Especificó dos tipos de criterios, los pertenecientes a un campo dado de la ciencia, y los externos al mismo. Se intenta que los primeros den respuesta a dos preguntas: primera, ¿está el campo listo para su explotación? y, segunda, ¿son los científicos en este campo realmente competentes? Estas preguntas pueden ser respondidas, dice Weinberg, únicamente por los mismos científicos, así que serán remitidas a grupos de expertos apropiados quienes juzgarán la calidad de las actividades de investigación y del personal.

El elemento controvertible en el análisis de Weinberg se refiere a los criterios externos. Al argumentar que "no es defendible basar nuestros juicios por completo en los criterios internos", claramente está abogando por la subordinación de los fines puramente científicos a los fines sociales. Este esquema tan baconiano o tan utilitario ha operado, de hecho, ampliamente en la mayoría de los países del mundo, y la importancia del documento de Weinberg está en que trató los asuntos abiertamente. Identificó tres criterios externos: el mérito tecnológico, el mérito social y el mérito científico. El primero es relativamente directo, ya que una vez que algún fin tecnológico es considerado valioso, estamos obligados a financiar la investigación científica necesaria para lograrlo. Un ejemplo de actualidad podría ser la tecnología médica de trasplante de órganos. Si la sociedad ha decidido que es deseable, entonces no hay otra elección que la de apoyar la investigación básica necesaria en inmunología, que es la única que puede vencer el problema del rechazo de tejidos. El argumento no pretende aquí implicar que la pertinencia tecnológica de la investigación básica es siempre aparente o que la investigación fundamental, que probablemente resuelva problemas tecnológicos, surgirá por fuerza como resultado de su reconocimien-

to, sino simplemente que se puede esperar que las soluciones de problemas asociados con la tecnología deseada surjan más fácilmente de trabajos adaptados especialmente para ellos, en vez de que surjan de manera fortuita, es decir de trabajos con los que no tienen relación alguna.

Claro está que aquí la palabra "deseada" indica el inevitable embrollo de los criterios tecnológicos y sociales. Weinberg reconoce el grave problema que surge de cualquier intento por juzgar la pertinencia del trabajo científico y tecnológico para el bienestar y los valores humanos, ya que ¿quién va a definir los valores de la sociedad? Quizá prudentemente, sin embargo, ofrece poca guía sobre cómo resolver el dilema. Aun al tratar con valores "bastante controvertidos" —como "defensa adecuada, o más comida, o menos enfermedades"—, está consciente de que no es en ningún modo fácil prever si algún programa determinado de investigación realmente logrará ir más allá de sus fines. Hay dos puntos que quizá vale la pena hacer notar. El primero es que en el contexto de una empresa tan internacionalmente característica como la ciencia, debe seguramente esperarse que conceptos como defensa, alimentación y enfermedad pueden ser discutidos en términos globales; dentro de una ética utilitaria, no hacerlo así sería dar por admitidos los problemas humanos verdaderamente importantes. El segundo punto es que, aun dentro de los límites más estrechos de la política nacional de la ciencia, un valor como "menos enfermedad" es también demasiado complejo. El caso de los trasplantes de corazón, por ejemplo, provoca muchas y delicadas controversias. ¿Tienen las vidas que se salvan con tan drásticas medidas un valor equivalente a las vidas de los recién nacidos que se pierden porque existen equipos de resucitación inadecuados, aunque éstos sean relativamente simples? Al mejorar las tasas de éxito, ¿será probable que la técnica (atractiva) de trasplante sea financiada a expensas de las medidas (mundanas) para alterar los modos de vida o el medio ambiente? y ¿se está convirtiendo la sofisticada tecnología de trasplante en un fin en sí misma que puede llevar hacia trasplantes cada vez más extraños?

El criterio de Weinberg sobre el mérito social implica claramente juicios de valor del tipo más difícil y, al mismo tiempo, ajenos a la ciencia. En relación con su criterio final, el del mérito científico, es importante subrayar que se incluyen consideraciones no fuera de la ciencia misma, sino sólo fuera del campo en cuestión. Si se le juzga únicamente *dentro* de su propio campo, es probable que una ciencia, nos dice Weinberg, se vuelva *barroca*, esto es, trivial y únicamente autosatisfactoria. Cualquier campo de la ciencia está, en realidad, empotrado en muchos campos relacionados, y la sugerencia es que la vitalidad de un campo puede medirse por su com-

promiso con estos otros como parte integral de una ciencia universal y total. "Ese campo posee el mayor mérito científico que contribuye con mayor fuerza e ilumina con mayor intensidad a las disciplinas científicas vecinas." Este criterio es original y, junto con los otros, particularmente interesante para ser aplicado a ejemplos específicos. Parece también tener apoyo independiente en la evidencia sociológica, que muestra que la innovación es promovida por la "fertilización cruzada" (véase el capítulo 6).

El mismo Weinberg valora varios campos científicos y técnicos sobre la base de sus propios criterios; llega a la conclusión de que la biología molecular debe ser apoyada con la máxima generosidad ya que, dice, sobresale en todos sus criterios, especialmente en su impacto sobre las ciencias afines (citología, genética, microbiología) y en su apoyo básico para la medicina. En contraste, a la física de alta energía —actualmente la rama más prestigiada— le otorga una calificación muy pobre en todos los criterios externos, identificando su enorme gasto como su talón de Aquiles —al hacerlo implica que una categoría más baja tiene menos importancia si sus gastos son también bajos. Sobre la cuestión de las ciencias sociales, Weinberg concluye que hay fuertes razones para apoyarlas a causa de su buen mérito científico (todas están interrelacionadas) y de su obvia pertinencia para los asuntos humanos. Aunque pueden carecer de un sentido de dirección claro, las ciencias sociales tienen la gran ventaja de costar poco.

LA SOCIEDAD CIENTÍFICA COMO TAL

En el mundo de todos los días, las relaciones éticas de ciencia y sociedad no son ni aproximadamente tan nítidas como desearían las teorías rivales e idealizadas. El sueño "cientista" (y quizás utópico) de una sociedad inspirada en la más pura ética de la ciencia parece estar aún más lejos de realizarse, mientras que la regulación de la ciencia exclusivamente con fines sociales no ha avanzado lo suficiente para los radicales. De hecho una relación cambiante e incómoda prevalece en la actualidad, aunque una orientación pragmática, sin ningún ideal objetivo absoluto, parece dominar cada vez más. Para los observadores bien informados, el *ethos* de la ciencia pura describe ahora el imperativo moral de una muy débil y poco representativa parte de la empresa científica. La *gran ciencia* con una misión orientada —hecha por partes y solucionadora de problemas— es lo que realmente importa.

El fracaso para traducir las imágenes del cientismo dentro de la realidad social parece resultar de la inaplicabilidad de la ética de

la ciencia pura al mundo humano que tiene enfrente. De una manera general, los ideales éticos de la ciencia son objetivos, impersonales e internacionales, mientras que los de la sociedad humana son subjetivos, interpersonales y nacionales. Una decisión para definir al primer grupo como el más fundamental es en sí misma un asunto de juicio moral, y siempre ha existido el temor de que una sociedad "científica" basada en estas normas podría no dejar lugar para valores humanos tan viejos como el honor, la dignidad o el simple comportamiento de confianza entre individuos (sin importar cuán altos los considere la comunidad científica misma). Aún más, en su incansable búsqueda de organización, eficiencia y poderío, podría infravalorar las profundas relaciones emocionales imposibles de cuantificar. Así que a pesar del extendido respeto por la ciencia, hay también considerable sospecha: un sentimiento de que la ciencia puede lograr milagros con los fenómenos naturales, pero a la que no se le puede permitir extenderse demasiado respecto a los asuntos sensibles de los individuos y de la sociedad.

No precisamos especular más profundamente en las posibles razones para esta sospecha, ni tampoco en la aparente incompatibilidad entre la ética científica y la ética social. Baste decir que se ha logrado, de hecho, una proporción aceptable de control sobre la ciencia, de manera que la cuestión más urgente ya no es la deseabilidad de que la ciencia sirva a la sociedad, o la sociedad a la ciencia, sino la cuestión de las necesidades humanas para las que la ciencia debe ajustarse y satisfacer. Aquí, sin embargo, encontramos algunos de los asuntos más delicados y emotivos de todos, ya que nunca es posible lograr un consenso sobre lo que son *realmente* las necesidades humanas. Durante la pasada generación el mundo fue espectacularmente transformado por el impacto de la ciencia y la tecnología, sin embargo, es en extremo dudoso si esta transformación ha ocurrido por el mandato del "deseo" humano. Por lo contrario, se sostiene generalmente que la revolución información-comunicación, creada por los ingenieros en electrónica y computación, ocurrió y sigue adelante porque era y es "inevitable". Según este punto de vista, la ciencia no está realmente controlada por los deseos de la humanidad en ninguna forma. Ya no está construida como un instrumento baconiano para satisfacer necesidades humanas específicas, sino que está gobernada por algo semejante a los "imperativos de la tecnología" de Galbraith (capítulo 6). El mensaje esencial moderno se ha vuelto: "Lo que puede hacerse, se hará", aunque esto signifique el trasplante de cabezas humanas (que, se dice, está cerca de la viabilidad técnica), la "clonación" de una raza de superhombres (todavía muy lejana) o la destrucción de toda manifestación de vida en la tierra (posible o probable, según el juicio de cada quien). La tendencia a imputar una fuerza de inevitabilidad al "progreso", que resulta

de la aplicación de un método científico llamado "neutral" (véase más adelante en este capítulo), independientemente de la ética científica o social, siempre ha recibido el apoyo implícito de muchos científicos prominentes. Entre ellos se contaba el físico y político liberal J. Robert Oppenheimer quien de mala gana defendió el desarrollo de la bomba de hidrógeno sobre la base de que era "técnicamente encantadora". Todo el alarmante síndrome puede resumirse en forma típicamente cáustica con las palabras de Bertrand Russell: "Cualquier locura que el hombre es capaz de concebir, históricamente siempre la ha ejecutado."

...*Y como podría ser*

La devoción del científico ya no puede seguir siendo únicamente una metodología. Una ciencia que busca fines meramente científicos no causa problemas cuando opera en el nivel de una actividad cultural, pero cuando ha alcanzado la escala masiva y el potencial que se observa en estos finales del siglo XX, y particularmente cuando opera dentro de una sociedad que carece de una ideología universal propia, presenta peligros del tipo más temible. Los imperativos éticos que operaron en forma suficientemente razonable en el siglo XIX, parecen totalmente inadecuados en el presente, en forma tal que las políticas científica y social ya no tienen otra elección que unirse.

Pero ¿cuál sería la naturaleza de cualquier relación estrecha y cómo podría lograrse? El lector no dudará que hay muchas respuestas posibles a estas preguntas, reflejando cada una actitudes que al menos en parte son normativas o "meramente personales". Un enfoque convincente argumenta que la forma más racional de minimizar la tensión que actualmente existe entre ciencia y sociedad, es acelerar un nuevo grado de comprensión entre ellas. Queda implícita en este enfoque la idea de que la ciencia necesita ser "humanizada", esto es, hacerla más pertinente con las necesidades y aspiraciones humanas. Por consiguiente, se dice, los métodos y objetivos de la ciencia deben dotarse de compasión, y dirigirse conscientemente a la reducción del sufrimiento y a la elevación del "espíritu humano". En apoyo a esta actitud general —si es que precisa de apoyo empírico— se subrayan los resultados de innumerables estudios sociales que parecen indicar que si bien la felicidad humana (en especial el sentido de propósito, compromiso y realización) *está* claramente relacionada con la satisfacción de necesidades básicas (como comida, abrigo y salud), ésta no se debe reducir a una función obvia simplemente de bienestar material. Una sociedad científico-tecnológica que proporciona una rica variedad de bienes de consumo, a

expensas —digamos— de un sentimiento de hermandad y comunidad, evidentemente es una sociedad que no sirve como debiera al bienestar del hombre.

Cuando se hace internacional el concepto de sociedad humana y cuando se comprende que cerca de las dos terceras partes de sus miembros individuales sufren desnutrición o infranutrición, que demasiados mueren de enfermedades desde hace mucho erradicables por la medicina, cualquier idea del universalismo en la ciencia o en la sociedad se revela muy pobre en su realización práctica. Aún más, cuando se sabe que solamente en Estados Unidos se gasta en alcohol y tabaco dos mil veces la suma que la Organización Mundial de la Salud estima necesaria (aunque no suficiente) para tomar medidas efectivas contra las enfermedades mayores del Tercer Mundo, ¿puede seguir pareciendo poco razonable la sugerencia de que la ciencia debiera dar prioridad a esos problemas de la sociedad contemporánea, los cuales puede resolver de inmediato? No lo parecería si la ciencia y la sociedad pudieran hacerse coincidir hasta el punto en que los problemas y prioridades de una fueran parte de los problemas y prioridades de la otra.

Lo que muchos pueden considerar como una base ideal para las relaciones éticas entre los médicos practicantes y sus pacientes y, por implicación, entre ciencia y sociedad, ha sido perfilado por el filósofo William May. Tras comparar sistemas basados en formas más familiares, como convenio o filantropía, May acepta el pacto "como el modelo más inclusivo y satisfactorio para enmarcar cuestiones de obligación profesional". Brevemente, la ética del convenio se basa en la aceptación de bonos de confianza y deuda mutuas. Para que operen con éxito, tanto la ciencia como la sociedad deben por lo tanto reconocer que cada una ha recibido beneficios de la otra, más obviamente en forma de apoyo financiero y de innovaciones tecnológicas respectivamente. Como agradecimiento por estos beneficios, cada una debe también aceptar la obligación de *dar*, no según un rígido contrato en el que el intercambio recíproco se conviene por adelantado, sino sin calcular lo que se va a devolver y de acuerdo con un código de conducta desinteresado, similar al que opera dentro del *ethos* mertoniano de la ciencia pura. Cada parte del convenio podría dar lo mejor de lo que produce, ganando en esta forma estimación y satisfacción para sí mismo y proveyendo para las necesidades particulares del otro. Existe claramente un elemento "cientista" —para no decir utópico— en el sistema de May, aunque sin la idea esencial de obligación y confianza es mucho más difícil concebir una base verdaderamente humana para una sociedad basada en la ciencia.

LA "NEUTRALIDAD" DE LA CIENCIA

Una ciencia genuinamente cartesiana —pura, desinteresada y sin motivos ulteriores— sería por definición neutral, en el sentido de estar moral y socialmente libre de valores. Una ciencia así podría compararse con cualquier otra "inocua" actividad cultural o estética, ya que podría ser poco menos que una entre las muchas formas de explorar las variadas relaciones del hombre con el universo. Pero ya hemos aclarado con relación a otras cosas que aunque una ciencia así de pura todavía fuera practicada en algún sitio, ni remotamente sería representativa de la ciencia moderna como un todo. Los asuntos relacionados con la posible neutralidad de la ciencia deben, por lo tanto, considerar a la ciencia aplicada, y quizás a la tecnología, tal como actualmente se encuentra en el mundo moderno. ¿Podría ser que la ciencia en su sentido más amplio sea neutral en lo referente al bien y al mal? ¿Soporta el científico individual una responsabilidad especial, *como científico*, por el trabajo que hace o por los usos que otros darán a ese trabajo? (Quizás debiera subrayarse en este punto que hacemos aquí una distinción entre ciencia-como-conocimiento o ciencia-como búsqueda-de-conocimiento, por una parte, y ciencia-como-actividad-social, por la otra. La naturaleza libre de valores de las dos primeras categorías puede ser relativamente simple de determinar; sin embargo, en esta sección nos limitaremos a la última categoría.)

Posiblemente a nadie sorprende que los miembros de la sociedad más inclinados a apoyar la noción de neutralidad científica sean los mismos científicos. Muchos científicos practicantes, que ignoran o desprecian la filosofía de la ciencia, se aferran a una concepción idealizada de su profesión y propagan una opinión de la "verdad científica" que implica absoluta certeza, objetividad y desprendimiento. Tal punto de vista podría sostenerse con conocimiento total de que muchos tipos de ciencia pueden practicarse solamente en virtud del apoyo financiero proporcionado por los gobiernos o las compañías industriales con fines que frecuentemente son poco claros, y casi siempre dirigidos por intereses políticos o económicos. Aunque estas posiciones parezcan incompatibles, sigue siendo cierto que el prestigio y la autoridad de la ciencia son tales, que son ampliamente aceptados, más o menos irreflexivamente, por el público en general. Al menos en algún grado, el cientismo ha usurpado el territorio que antiguamente dominaba la religión.

¿Puede soportar un examen la tesis de neutralidad? Los fines de la ciencia moderna están ahora ampliamente regidos por el ideal baconiano del "dominio sobre la naturaleza", esto es, por una política científica que identifica el conocimiento con el poder. Más aún, los recursos de la ciencia —esos recursos por los que puede sobrelle-

varse la actividad para resolver problemas, así como el tipo de respuestas que pueden ofrecerse— son ahora generalmente reconocidos como dictados por los paradigmas que actualmente prevalecen. Pero las relaciones sugeridas por un paradigma están ellas mismas comúnmente influidas por factores sociales y políticos, de manera que los problemas seleccionados para investigación por un científico, por una compañía comercial, o por una institución gubernamental, reflejarán juicios de valor sobre lo que es importante hacer. Aun la creencia de que la búsqueda de *cualquier* conocimiento es por sí valedera, requiere un acto de juicio; y ciertamente la decisión de que es mejor *no* proseguir algunos tipos de conocimiento (por ejemplo los relacionados con la investigación sobre recombinaciones del DNA) está profundamente impregnada de valoraciones personales.

Desde hace mucho se reconoce que el conocimiento científico, con todo lo "puro" que pueda ser en el momento de su descubrimiento, puede convertirse, en manos de otro, en un arma del mal. ¿Puede responsabilizarse a la ciencia, o a los científicos, por el abuso del descubrimiento científico? ¿Fue Einstein, por ejemplo, responsable en algún grado de la bomba atómica que fue la realización práctica de sus observaciones puramente teóricas, como la interconvertibilidad de la materia y la energía?

El caso del gas CS es un ejemplo más reciente y quizá de mayor controversia. Su desarrollo hasta convertirlo en un agente de hostigación, fácilmente obtenible, para controlar multitudes y para usos bélicos, puede rastrearse en retrospectiva hasta un aparentemente inocuo trabajo de investigación —publicado en el *Journal of the American Chemical Society* (1928) y titulado "The Reactions of Alpha, Beta-Unsaturated Dinitriles"—, realizado por B.B. Corson y R.W. Stoughton. En cierta información de este documento fue "detectada" una potencial aplicación práctica. Después de esto, el trabajo que se precisó para producir un gas incapacitante para dispersar multitudes, y finalmente para sacar a los vietnamitas de las cuevas y túneles, fue elaborado por la Britain's Chemical Defence Experimental Establishment. Según Steven y Hilary Rose, quienes describen todo el incidente, el dedo de la sospecha debe apuntar con firmeza a

la directiva de la War Office en 1956, que enunció la nueva dirección en la investigación. Aquí, en la transición de un documento científico a un concepto tecnológico, está la clave de la aplicación de la ciencia con respecto a la sociedad, en un punto en donde es perfectamente posible identificar responsabilidad y no-neutralidad.

La controversia es aquí, por lo tanto, que los dos químicos no pueden ser considerados responsables por los desarrollos posteriores,

imprevisibles, de su propio trabajo. La responsabilidad debe situarse en el comité del Ministry of Defence, quien dio la orden *sin*, nótese bien, ninguna consulta pública. Los Rose proporcionan más ejemplos paralelos y aseguran que "son intrínsecos al actual desarrollo de la ciencia", sugiriendo que es apenas accidental que el libro en donde se describe el desarrollo de otra arma usada ampliamente en Vietnam y en otras partes del mundo, el napalm, se llame nada menos que *The scientific method* (según el bien conocido químico L.F. Fieser).

La actitud de los Rose puede parecer extremosa para algunos, sin embargo sus ejemplos dan mucho en qué pensar. Sugieren que aun la más pura de las ciencias no puede (aunque el más puro de los científicos quizá pueda) esconderse tras el escudo de una supuesta neutralidad. En donde la ciencia es menos que pura, como es el caso de la abrumadora mayoría de todos los programas modernos de investigación, toda reclamación de neutralidad puede parecer imposible de justificar. En esta forma para muchos la ciencia aplicada, distinguiéndola de la ciencia "cartesiana", por definición no es neutral; es una actividad social abiertamente enlazada con las prioridades discrecionales de los gobiernos y las industrias. Y a causa de que la mayoría de las llamadas investigaciones básicas se hacen en laboratorios industriales (es decir, se trata de "investigación básica orientada", véase el capítulo precedente) no pueden escapar al dilema de la responsabilidad, de forma que ya no es factible separar la investigación básica de su aplicación para propósitos de responsabilidad moral.

ALGUNOS DILEMAS ÉTICOS

La conclusión anterior parece reforzarse con la multitud de problemas prácticos que recientemente han llegado a la atención del público. Antes de que examinemos algunos de ellos, es importante que revisemos brevemente de nuevo los fundamentos lógicos de la tesis de neutralidad. El argumento convencional, proveniente de Hume (véase *supra* en este capítulo), afirma que la ciencia está dedicada exclusivamente a lo que *es*; opera únicamente con declaraciones positivas, nunca con declaraciones normativas que conciernen a lo que *debiera ser*. Según este punto de vista, una conclusión normativa no puede derivarse inductivamente de premisas positivas porque aún no está implícita en estas premisas (véase el capítulo 2); por lo tanto la ciencia no puede generar declaraciones normativas (juicios de valor).

Esta posición ortodoxa asegura que mientras que la ciencia pue-

de presentar la evidencia fáctica de cualquier relación, digamos entre el fumar y la salud de una madre y de su hijo aún no nacido, no tiene nada que decir sobre si para esa madre es correcto fumar. A pesar de la evidencia estadística de que fumar mucho en periodos prolongados reduce las expectativas de vida del fumador, al igual que las esperanzas de vida del bebé (y a pesar de la ejecución de controvertidos experimentos con animales "fumadores"; experimentos cuya *justificación* es supuestamente la mitigación del sufrimiento humano y la conservación de la vida humana), la ciencia simplemente no puede, por sí misma, dictaminar sobre si el individuo *debe* acortar su popia vida o afectar adversamente la de su bebé. Igualmente bajo este punto de vista, la ciencia como tal no puede ofrecer directivas sobre si una nación debe empeñarse en el genocidio (digamos por medio de una guerra nuclear). "Tanto para favorecer el genocido como para oponérsele, la ciencia es neutral; no tiene, podríamos decir, dimensiones morales" (Black).

Discutiendo estas cuestiones, el filósofo Max Black pretende atacar la postura clásica. El pilar de su argumento es la declaración de que, después de todo, no es posible distinguir infaliblemente entre declaraciones positivas y normativas. Por ejemplo, la proposición de que el crimen es un pecado ciertamente implica que no se debe matar, pero no puede entenderse únicamente a partir de su forma lingüística si la proposición es normativa o positiva. Black argumenta que algunas afirmaciones normativas categóricas "tienen ciertamente valor de verdad, y pueden certificarse como objetivamente verdaderas (independientemente de deseos o esperanzas)". Para apoyar esto invoca la evidencia antropológica de que todos los seres humanos, sin importar sus antecedentes, aparentan compartir algunos principios éticos básicos, por ejemplo el principio de que estaría mal comer niños cuando escasea la comida. "Aun si las verdades fácticas tienen que considerarse como segregadas lógicamente, la introducción de algunas [premisas] normativas generalmente aceptables, podrían legitimar la derivación de conclusiones normativas." La propia conclusión global de Black es que la ciencia "como sistema de actividades voluntarias [...] es, al menos en principio, receptiva al control interno y externo".

Es obvio que la ciencia puede ser, y lo es, controlada desde el exterior, porque si bien puede diseñar medios eficientes para cometer genocidio, el hecho de que el genocidio sea o no cometido es totalmente un asunto de la sociedad, no de la ciencia. Pero la sugerencia de que la ciencia puede, después de todo, tener una dimensión ética *interna* es uno de los mayores intereses y conforma una buena base desde la cual se pueden observar algunos de los asuntos más urgentes del presente. La literatura sobre estos temas es ya enorme y se expande rápidamente. Para nuestros presentes propósitos empeza-

remos por identificar unos cuantos de los problemas ecológicos generales que relacionan la ciencia con la tecnología, y después continuaremos examinando algunos ejemplos específicos relacionados con las ciencias físicas, las vitales y las sociales. Es bueno también anotar que las cuestiones morales en juego a menudo sólo están implícitas en asuntos que se discuten más en el plano de aquellas condiciones que pueden ser "causadas" o "curadas" por la ciencia.

"Nave espacial tierra": ciencia, tecnología y futuro

El devenir más alarmante que encara un mundo que parece ser en muchos aspectos cada vez más inestable, es con toda seguridad la destrucción de la raza humana. Esto se ha dicho ya tantas veces que casi suena como cliché, sin embargo el hecho sigue siendo que el moderno complejo militar-industrial, relacionado con la ciencia, ha instigado, por medio de descubrimientos e inventos, un cambio cualitativo del mayor alcance en las relaciones internacionales. La aceleración continua de la carrera de armas nucleares está justificada oficialmente, en cada una de las partes, por la necesidad de mantener un "equilibrio" que supuestamente es amenazado. Sin embargo gran parte de la opinión informada considera que dicha carrera ha alcanzado la peligrosa posibilidad de una guerra global. (Aspectos de *ciencia y guerra* se discuten al final de este capítulo.)

De amenaza menos inmediata, pero de inmensa seriedad a relativamente corto plazo, son las inestabilidades en las bases materiales de la sociedad que parecen resultar del impacto de la ciencia. Los adelantos en los estándares de la medicina y la salud pública, reduciendo las enfermedades y la mortalidad infantil, han permitido un crecimiento espectacular de la población del mundo. Mientras tanto, la ciencia de la agricultura ha incrementado la producción de alimento hasta donde esta inmensa población lo exige —aunque dentro de estándares dietéticos variables y con algunas horrendas, y cada vez más frecuentes, excepciones. En las partes más ricas del mundo, la sociedad tecnológica ha elevado las expectativas de la gente respecto a un alto estándar de vida, y por medio de una distribución y un consumo de recursos desproporcionados condujo a tirantes relaciones entre los países desarrollados y subdesarrollados (la dicotomía Norte-Sur). En particular, se argumenta, la ciencia y la tecnología se concentran cada vez más en la producción de bienes suntuarios para los pocos opulentos, y en el equipo militar para proteger esta opulencia, mientras que ignoran las necesidades básicas como alimentos, habitación, vestido, salud, educación y empleo para la mayoría carente de poder. Aún más, imponiendo los valores tecnológicos del mundo opulento, los principios democráticos funda-

mentales como la participación y el control popular están siendo socavados en las naciones pobres de África, Asia y América Latina, ya que la experiencia sofisticada requerida se concentra cada vez en menos manos.

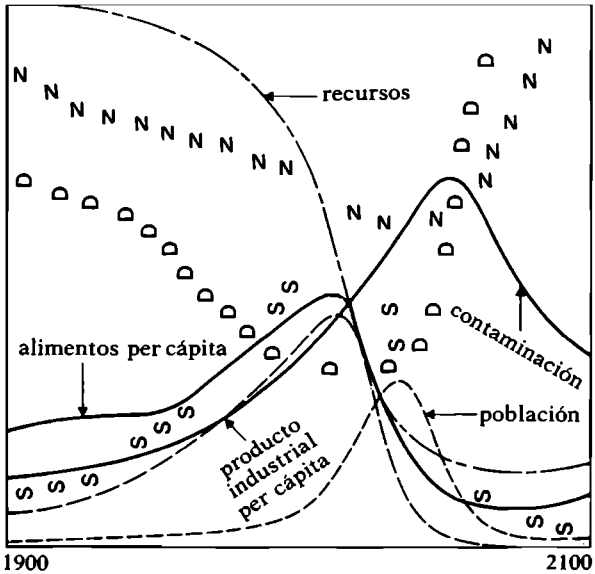
Muchas industrias modernas relacionadas con la ciencia producen nuevas amenazas de contaminación que hacen peligrar, quizás en forma irreversible e irremediable, el delicado balance ecológico de la naturaleza. Por ejemplo, el DDT destruye insectos portadores de enfermedades y destructores de sembradíos, pero puesto que no es selectivo mata también otras formas de vida. Además, es persistente en la naturaleza y se ha extendido, a través del aire y del agua, a todos los rincones de la tierra. Se acumula a través de cadenas alimentarias y ya se sabe que afecta la fecundidad en los pájaros, aunque todavía no se ha demostrado que sea nocivo para el hombre en las cantidades actuales que se han acumulado sobre sus tejidos. Hay muchos otros ejemplos de importancia global, como el peligro de aumentar la dañina radiación del sol, como resultado de que reducimos la capa de ozono de la atmósfera superior por medio del uso de fluorocarbonos en diversos aerosoles, o las precipitaciones de "lluvia ácida" que pueden romper el equilibrio de lagos y ríos, y que se consideran resultado de la salida de sulfuro hacia la atmósfera, típica de las centrales eléctricas que trabajan con carbón. Muchos de esos casos son notablemente ambiguos en el contexto ético, porque quienes sufren las consecuencias de la contaminación frecuentemente no son los que la producen.

El problema de la contaminación está estrechamente relacionado con el fenómeno del crecimiento tecnológico y también con el cada vez más rápido agotamiento de los recursos naturales, en especial los minerales raros y combustibles de fósiles. Se ha estimado que el consumo total de minerales fue mayor en los primeros años del presente siglo que durante todo el tiempo precedente, y que entre 1950 y 1975 esta tasa fue incluso excedida en un 50%. El consumo de petróleo se ha elevado con un factor no menor de 100 durante el siglo XX. Estas cifras dan lugar a temores muy reales, no únicamente de una *crisis de energía*, sino también de una crisis de nuestro modo de vida tan industrial. Esto provoca numerosas preguntas, tanto sobre el tipo de sociedad que debemos intentar establecer como sobre las concernientes a la sociedad que posiblemente nos veamos obligados a aceptar. Puesto que todos estos problemas nos abruman a velocidad creciente, probablemente muchas de las formas actuales de encararlos serán inadecuadas en el futuro. Hasta ahora, las opiniones difieren sobre si la tecnología futura será capaz de resolver los problemas causados por la tecnología actual (la llamada "fijación tecnológica") o si es que estamos, forzosamente, entrando en una era *posmanufacturera* en la que cualidades como

el ascetismo y la austeridad serán más apreciadas que la productividad y el crecimiento económico. De acuerdo con esta última opinión, deberíamos empezar a ajustarnos conscientemente a una nueva sociedad que dará preferencia a la *calidad de vida* más que a la cantidad de producción.

De cualquier manera, no existe desacuerdo en que los problemas graves están próximos. Esta comprensión ha promovido nuevas formas de pensamiento sobre el futuro, y especialmente sobre los próximos 20 a 100 años. Las ciencias sociales establecidas, como la economía, han evitado generalmente hacer predicciones a tan largo plazo, pero es en este periodo cuando se espera que los problemas que ahora confrontamos se vuelvan más agudos. Como resultado, ha surgido la nueva ciencia social de la futurología, basándose en técnicas de predicción tecnológica. Desafortunadamente, aunque científicos naturalistas y tecnólogos calificados han desempeñado un papel prominente, la futurología ha revelado muchas de las dificultades clásicas propias del desarrollo de cualquier ciencia social efectiva (véase el final del capítulo 5). Por ejemplo, los futurólogos pueden tratar únicamente con futuros *posibles*, no con los que inevitablemente ocurrirán; esto es, no pueden realmente *predecir* el futuro, porque en ninguna forma pueden anticipar descubrimientos o inventos revolucionarios, interacciones complejas entre factores sociales, o la manera como podría reaccionar la gente ante sus predicciones, quizá falsándolas. Están trabajando en una escala de tiempo tan prolongada, que sólo lentamente pueden saber de sus éxitos y fracasos. Sin embargo, mientras tanto, piden que actuemos *ahora* para anticiparnos a los peligros que prevén.

Los intentos para construir "modelos de mundo" que simulan la situación total en computadoras dan resultados —según se ha visto— muy sensibles a los valores de factores que sólo pueden adivinarse. El ejemplo más famoso fue presentado en *The limits of growth* (1972), producido en el prestigiado Massachusetts Institute of Technology por Dennis Meadows y colaboradores. Esencialmente, el libro es un intento por combinar los efectos de la explosión demográfica, la contaminación de la biosfera y el agotamiento de los recursos naturales mediante un sofisticado modelo matemático que, supuestamente, permite predecir tendencias futuras a partir de esta base integrada. En el modelo "estándar" de mundo (figura 9) se suponía que las relaciones tradicionales que han operado en el mundo persistirán en el futuro. Sobre esta base, se predijo que los fundamentos industriales de la sociedad se derrumbarían en los albores del siglo XXI debido a la elevación de precios y a la disponibilidad decreciente de los recursos naturales. Los alimentos per cápita declinarían entonces rápidamente, mientras que los niveles de contaminación continuarían subiendo por algún tiempo. Finalmente, habría



N = tasa bruta de nacimiento
D = tasa bruta de defunción
S = servicios per cápita

FIGURA 9
El modelo "estándar" de mundo.

una precipitada disminución en la población mundial debido a la hambruna y a las enfermedades. La única manera de alcanzar un modelo estable, diferente por completo al inestable, sería, según Meadows, suponer recursos "ilimitados" (a través de la explotación de minerales de baja gradación usando energía nuclear barata y un reciclaje extensivo), controles efectivos de contaminación y una gran, en verdad factible, optimización en la producción de alimentos. Si el control de la natalidad limita el tamaño promedio de la familia a dos hijos, y la producción industrial per cápita se reduce a los niveles de 1975, se evitaría el colapso a largo plazo (figura 10). Un retraso en la realización de los cambios "necesarios" desde 1975 hasta el año 2000, predice el modelo, resultará nuevamente en inestabilidad y colapso hacia finales del siglo XXI.

El estudio de Meadows ha sido criticado severamente por autores subsecuentes en numerosos puntos, principalmente en que es un "modelo de mundo" tan general como imposible; que ignora los efectos de las fuerzas económicas y del progreso tecnológico; que subestima la disponibilidad de recursos, y que en general es dema-

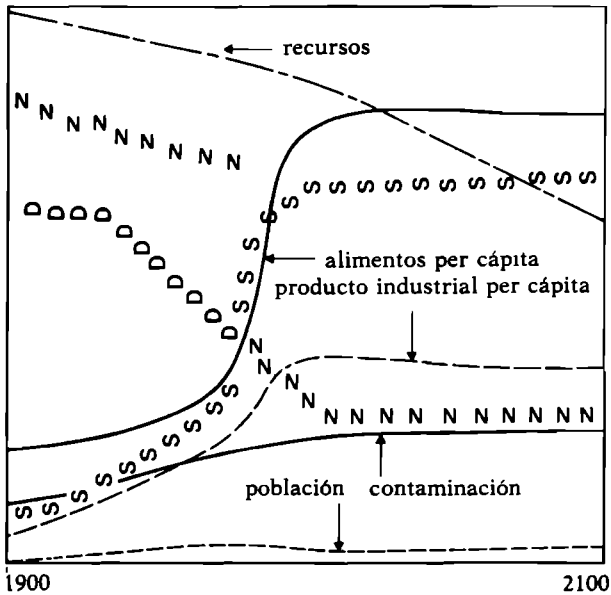


FIGURA 10
Un modelo de mundo estabilizado.

siado pesimista. Pero sean cuales fueren las limitaciones que el estudio pueda tener, tanto él como las respuestas de sus críticos ilustran las enormes dificultades inherentes a cualquier intento por predecir eventos futuros.

Ciencias físicas: el poderío nuclear

El vigoroso debate sobre el poderío nuclear, que siempre se ha relacionado con el debate sobre armamento nuclear, es quizás el ejemplo principal en los tiempos modernos de los angustiantes problemas provocados por la ciencia y la tecnología. La controversia se ha hecho nuevamente urgente por el agotamiento de los combustibles fósiles convencionales. Una rápida decisión para apresurar un programa en gran escala de reactores nucleares —especialmente si implica el desarrollo del reactor rápido autogenerador [*fast breeder reactor*]— representa, según los entusiastas, la *única* solución viable a la crisis general de energía, una solución que sería el fruto magnífico del progreso científico y tecnológico. Por otra parte, para los críticos una decisión semejante sería un ejemplo desastroso y, al me-

nos para el futuro previsible, innecesario, de la ayuda de la sociedad a los *imperativos de la tecnología*; desastroso porque la seguridad y la eficiencia de la tecnología todavía no han sido probadas, e innecesario porque el uso de fuentes de energía seguras y renovables, junto con una conservación eficiente, podrían satisfacer adecuadamente las necesidades futuras. Aunque la controversia se da a veces sólo en niveles técnicos y económicos, casi todos los temas tienen dimensiones éticas subyacentes de enorme importancia social.

El uranio no es un combustible fósil en el sentido usual, pero tampoco es inextinguible. Puesto que es el combustible de los reactores térmicos nucleares (véase el capítulo anterior) constituye por lo tanto un problema. El reconocimiento de esto es lo que impulsa a algunos expertos a apoyar el reactor rápido autogenerador, un tipo de reactor que usa como combustible el plutonio —producido en reactores térmicos convencionales— y que también "autogenera" más plutonio para usarse en otros reactores. (El primer reactor en gran escala que usó el principio de la autogeneración fue el de Dounreay, en el norte de Escocia.) Desafortunadamente, todo el asunto de la disponibilidad adecuada de uranio es en sí mismo polémico. Algunas estimaciones *autorizadas* aseguran que las reservas son suficientes para permitir el aplazamiento indefinido de un programa regenerador, mientras que otras dudan que sean adecuadas para apoyar cualquier programa grande de regeneración. Obviamente, en tanto que se tengan que extraer minerales de gradación cada vez más baja, debe haber un punto en que se consuma más energía para extraer el uranio de la que puede obtenerse usándolo como combustible. Muy aparte de los asuntos sobre el medio ambiente provocados por una amplia explotación minera, surge el dilema ético de las enfermedades y muertes por radiación que sufren los que perforan las minas. Estos hombres tienen poca influencia y a menudo pocas alternativas para elegir su ocupación laboral, y su explotación es, según los críticos, "uno de los grandes escándalos de nuestro tiempo". En lo que respecta al plutonio, es el elemento hecho por el hombre que no sólo es esencial para las armas nucleares —de aquí los temores por su proliferación—, sino que a causa de su radiactividad es una de las sustancias más mortíferas que se conocen. Un amplio programa regenerador necesitaría la transportación frecuente del plutonio, con el riesgo inherente de accidentes y de ataques terroristas. Por lo tanto, sería necesario un vasto cuerpo de policía armada para cuidar los trenes y los sitios donde se instalaran los reactores, lo cual da lugar a temores sobre la incompatibilidad del poderío nuclear y la libertad humana.

La cuestión de la seguridad es una de las mayores preocupaciones del movimiento antinuclear. Existen varios aspectos en el problema, incluyendo la posibilidad de accidentes catastróficos dentro

de los reactores de energía nuclear, y los efectos a largo plazo de un aumento en la radiación de "segundo plano", que es el temido resultado de un escape de las plantas de operación y de los productos de desecho. La reciente amenaza de un gran desastre en el reactor 3-Mile Island en Pennsylvannia no fue comprendida plenamente en su momento, dado que el sobrecalentamiento del núcleo no produjo la "fusión" de elementos del combustible suficiente para formar un charco explosivo de combustible líquido en la base del reactor. En los dos principales accidentes de fusión que han ocurrido hasta la fecha, las contenciones del reactor no se rompieron, y los defensores de la energía nuclear argumentan que, con un diseño apropiado, esa rotura es virtualmente imposible. Sin embargo, se ha informado de numerosos "incidentes" de tipo potencialmente serio, y siempre deberá existir el peligro de una catástrofe mayor. Un accidente de fusión incontrolada podría ser una "bomba de tiempo" genética con horribles consecuencias sobre muchas generaciones, que causaría la muerte de muchos miles como resultado de la fuga de material radiactivo. Ciertamente requeriría la evacuación de áreas enormes durante muchos siglos. Según informes polémicos, *hubo* un gran accidente en un vertedero de desechos nucleares en la URSS en 1958, que dio como resultado la desaparición de cerca de 30 comunidades del mapa. Alegan los críticos que esto fue ocultado al público occidental durante más de veinte años, por medio de una conspiración de silencio por parte de la industria nuclear.

La destrucción de desechos radiactivos también plantea grandes problemas. Un escape de la planta británica en Windscale ha sido descrito como incontenible, y algunos afirman que actualmente el Mar de Irlanda es el más radiactivo del mundo. Algunos productos de desecho seguirán siendo letales por decenas de miles de años, y la tecnología para su destrucción no ha sido todavía desarrollada. En la actualidad, el plan es fundir los materiales de desecho en un tipo especial de vidrio y enterrar los recipientes en formaciones geológicas de estabilidad comprobada. Pero nuevamente esto lleva a grandes ansiedades y a la cuestión de nuestra responsabilidad moral de dejar un ambiente sano a quienes vengan después de nosotros.

Debido a que las plantas de energía nuclear son potencialmente tan peligrosas, no pueden situarse cerca de áreas de alta población, lo que significa que las enormes cantidades de calor sobrante no pueden aplicarse útilmente, digamos para la calefacción de una comunidad. Hay un amplio consenso respecto a que la electricidad que producen las plantas no conviene económicamente para la calefacción de espacios, aunque según las estimaciones del Department of Energy del Reino Unido podemos esperar que más del 50% de la energía primaria de la nación sea disipada como calor de desecho de las plantas de energía hacia el año 2020. De acuerdo con los críticos de

la energía nuclear, el enorme gasto de investigación en tecnología nuclear significa que hay poca posibilidad de financiamiento para la investigación en fuentes alternativas de energía (como el sol, el viento, las arenas alquitranadas, etc.) y para la conservación; por ejemplo, se ha calculado que mediante la conservación del calor se puede ahorrar el doble de energía de la que puede producirse con el mismo gasto financiero.

Existe ya una extensa literatura sobre estos grandes problemas y hemos tocado únicamente algunos de ellos. Quizás el punto más importante que debemos señalar es que las opiniones de los expertos científicos difieren a causa de que, en último análisis, simplemente no pueden concebirse libres de valores; es imposible sopesar los beneficios y peligros de la energía nuclear únicamente dentro de los estrechos confines de parámetros cuantificables. Así, aunque a veces puede hacerse una distinción entre "problemas en ecología", que se supone únicamente interesan a los científicos, y "problemas ecológicos" que son principalmente políticos y sociales, raramente hay en la práctica una separación completa. Por ejemplo, un científico puede medir el nivel de radiactividad en el aire o en el mar y obtener el incondicional consenso de todos los demás científicos sobre el asunto de la exactitud de sus mediciones. Pero pronto surgen problemas cuando se le pide al científico que advierta a los políticos del nivel "permisible" o "aceptable" de radiactividad. La respuesta a esta petición conduce al científico a conflictos de valores, que sólo pueden tener sentido dentro de áreas alejadas de su autoridad especial como experto. Podría argumentarse que como científico está obligado a confinarse exclusivamente a las mediciones, sin embargo, por el solo hecho de ser científico tiene amplia autoridad para hacer recomendaciones reflexionadas. Como ciudadano, puede sentir la obligación moral de aconsejar que se tomen precauciones contra un medio realista conformado por los asuntos sociales y políticos implicados, y esto refleja sus puntos de vista personales.

Para el economista los problemas son quizás aún más difíciles. Es casi seguro que sus datos básicos son más controvertibles que los del científico naturalista, y en su deseo de proporcionar predicciones exactas posiblemente se sienta tentado a extender su análisis económico hasta valores humanos que, para muchos, no pueden cuantificarse sin perder su carácter humano esencial. ¿Cómo, por ejemplo, podrá el economista intentar calcular el costo real de la electricidad de energía nuclear?, ¿deberá tomar en cuenta el vasto gasto en investigación, y en fallas del reactor, e intentará estimar el costo de "retirar" y sellar los reactores al final de su vida productiva? Y aún de mayor controversia, ¿deberá intentar medir los factores de salud y medio ambiente en términos meramente económicos, o deberá dejar la importancia de éstos para que la juzguen

los políticos? En suma, ¿deberá restringir su informe a lo que probablemente es rendidor para la sociedad o está obligado, como el político, a considerar también lo que puede ser *bueno* para la sociedad?

Ciencias vitales: experimentos en animales

En los años recientes se ha reanudado con vigor el debate concerniente al uso de los animales para servicio del hombre. Gran parte del debate se ha centrado en la cuestión de en qué medida la experimentación con animales "para beneficio de la humanidad" puede realmente justificarse. Para quienes comparten la opinión cartesiana de que los animales son intrínsecamente de poco valor, quizás acoplada con la idea kantiana de que únicamente la persona humana existe "como fin en sí misma", el problema es mínimo. Los experimentos, aun los dolorosos, ciertamente estarán justificados si hay un beneficio humano obvio, y probablemente lo estarán también si el propósito del experimento no es más que el "progreso del conocimiento". Sin embargo, esta posición filosófica tradicional está amenazada en ciertos aspectos, puesto que mucha gente ya no quiere trazar una línea divisoria clara entre el hombre y el resto de la naturaleza, particularmente entre el hombre y sus compañeros animales. Para esta gente, parece que muchos de los experimentos que ahora se ejecutan están mal concebidos y son innecesarios. Bajo la influencia de escritores como Ivan Illich (en su libro *Medical nemesis*), se inclinan por cuestionar la consideración básica de que mejorías en gran escala en la salud humana no pueden en ningún caso relacionarse claramente con los avances en las ciencias paramédicas. Más bien parecen ser a menudo el resultado de una mejoría elemental en la salud pública.

El *establishment* médico, sin embargo, todavía ejerce enorme influencia. La opinión ortodoxa sigue siendo que, aunque el sufrimiento puede ser minimizado, es sin embargo esencial que se hagan muchos millones de experimentos en animales vivos cada año. Una proporción de éstos son para propósitos muy directamente relacionados con la medicina y la cirugía, pero un número muy grande meramente "prueban" el amplio rango de los nuevos productos, desde el champú hasta la cera para pulir pisos, que continuamente se ponen a disposición del público. Un experimento de este último tipo, que es ampliamente practicado y requerido legalmente, ha sido sometido a intenso debate. Se trata de la llamada prueba de toxicidad LD_{50}. Cualquier sustancia que puede ser venenosa tiene que ser forzosamente administrada a animales, usualmente a roedores, conejos y perros, a los que se deja morir para que la "dosis letal" —aque-

lla que mata el 50% de los animales— pueda determinarse, por extrapolación, para el hombre.

El tema de la experimentación en animales es demasiado amplio para que lo examinemos detalladamente. Sin embargo, una cosa es cierta: no se trata solamente de un asunto emotivo y sentimental, sino que despierta cuestiones éticas del tipo más profundo. Para nuestro propósito principal —esto es, para ser considerado por los mismos científicos—, es quizá más útil explorar brevemente el caso crítico de la ortodoxia, porque sus afirmaciones fundamentales generalmente reciben poca atención entre los "adoctrinados" por la sabiduría prevaleciente.

Un punto de vista expresado comúnmente por quienes practican la experimentación en animales es el de D.H. Smyth en su *Alternatives to animal experiments* (1978). Este libro ofrece una relación razonada sobre por qué debe continuar el *status quo* más o menos sin cambio. Los asuntos morales, sin embargo, se omiten, dice el profesor Smyth, "no porque no tenga interés en ellos, o porque los considere sin importancia, sino porque no estoy especialmente calificado para instruir a otros sobre este tema". Esto es cómodamente típico de la posición del científico. Muy aparte del argumento de que un individuo no familiarizado con los asuntos morales no está por ello libre de responsabilidad, el riesgo consiste en que esta actitud pronto se convierta en una que implique que, en razón de que no hay conexión lógica entre los asuntos "subjetivos" de hecho y los asuntos subjetivos de opinión (véase más arriba), los asuntos morales no existen realmente, o al menos que si se les ignora desaparecerán.

Quizás la pregunta moralmente más importante que debe hacerse aquí es: ¿tienen los animales derechos —digamos, a la vida, la libertad y la búsqueda de felicidad— en el sentido en que generalmente se piensa que tienen los humanos? La respuesta a esto debe darse en términos de otra pregunta que se basa en la evidencia empírica: ¿tienen intereses los animales? Si nos restringimos únicamente a mamíferos y aves, que representan la gran mayoría de los animales usados por los científicos paramédicos, parecería que no hay problema particular. Por ejemplo, si creemos que otros seres humanos sienten dolor en la misma forma que nosotros, no hay razones fisiológicas o filosóficas para suponer que los mamíferos y las aves no sienten el dolor en esa misma forma. Podríamos por lo tanto decir que tienen interés en que no se les haga sufrir dolor. Sin embargo, que una criatura tenga intereses no implica lógicamente que también tenga derechos, sino únicamente que *puede* tener derechos. Que se piense o no que la criatura realmente tiene derechos dependerá de nuestra percepción de la *naturaleza* de esa criatura. Es por esto por lo que los más fundamentales tipos de derecho son a menudo descritos como derechos *naturales*, y los derechos naturales parti-

culares de los seres humanos son llamados *derechos humanos*. Nuestro interés, en este mismo sentido, recae en los *derechos animales* y en los argumentos que pueden ofrecerse como base para una distinción entre ellos y los derechos humanos. La cuestión de los derechos animales (particularmente el derecho a que no se les cause sufrimiento innecesario) es crucial para todo el asunto, porque si nos sentimos obligados a reconocer tales derechos, nos obligamos también —si estamos decididos a ser moralmente congruentes— a preconizar cambios drásticos en nuestro trato con los animales. Incidentalmente, aun aquellos individuos que tienen razones para rechazar el concepto de los derechos animales no están autorizados por eso a ser crueles con ellos, porque todavía sigue en pie la cuestión de nuestros deberes hacia los seres sin derechos.

El elemento esencial en el argumento por los derechos de los animales es que no hay una condición que posean *todos* los animales humanos que se considere básica para que tengan derechos —la cual no la poseen tampoco algunos animales no-humanos—, exceptuando la condición misma de "ser humanos". A la inversa, la carencia de ella en *todos* los animales no-humanos no es una condición que pueda servir como base para su no posesión de derechos, de la cual tampoco carecen algunos seres humanos. Por ejemplo, las capacidades tradicionales de razonamiento y lenguaje, utilizadas desde tiempos antiguos como distinción básica entre la naturaleza humana y la animal, ya no es considerada por la etología ni por la psicología animal como monopolio del hombre, y en muchos casos no la poseen los niños y, ni aun potencialmente, algunos idiotas humanos. Incluso si la posesión de tales capacidades fuera negada a las especies no-humanas, esto no sería una razón lógicamente válida para negarles derechos fundamentales como los de la vida y la libertad, aunque claro está sería una razón suficiente para negarles el derecho a votar. Así que no existe incongruencia cuando se afirma que *hay* derechos que nosotros, los seres humanos, tenemos, no simplemente en virtud de ser miembros de la especie *Homo sapiens*, sino más bien como consecuencia de ciertas capacidades o intereses que poseen únicamente los seres humanos. Pero hacer de la mera diferencia de las especies *la* base para justificar un trato totalmente discriminatorio es, se afirma, precisamente análogo al argumento que justificaba la esclavitud, o la "solución final" de Hitler sobre la base de diferencias de raza, o de la poligamia y la servidumbre con base en las diferencias de sexo o de casta. Lo que parece seguro, de acuerdo con este argumento, es que el concepto de "derechos humanos" está mucho más restringido de lo que convencionalmente se cree. En razón de que los animales no-humanos tienen interés en experimentar placer y en evitar el dolor, tienen derechos naturales a la vida, la libertad y la búsqueda de su felicidad particular, en forma

muy semejante a la que tienen los seres humanos.

Los críticos de este punto de vista, que continúan insistiendo en que hay una esencia especialmente intangible en la naturaleza humana que trasciende al hombre —el extraordinariamente evolucionado mamífero—, y que por lo tanto debe existir una base moral para acordar un trato diferente, argumentan que es esta misma esencia la que hace al hombre único entre todas las especies, el *animal ético*. Ésta es sin duda la razón, aseguran, por la que el hombre está solo para soportar la carga de "entidad moral", así que solamente él está fuera y por encima de la irreflexiva "ley de la selva" que autoriza el dominio del más fuerte sobre el débil. De acuerdo con este punto de vista, la esencia fundamental de la humanidad del hombre no es en ninguna forma un concepto biológico, sino más bien espiritual, que sólo él puede considerar y a través del cual solamente él puede identificar el tipo de comportamiento hacia otras criaturas, comportamiento que es legítimo únicamente para él mismo.

Resumiendo entonces, un punto de vista como el que se ha bosquejado —aun el de una pequeña minoría— argumenta que *si* los seres humanas tienen intereses y derechos, los animales también los tienen. Respecto al científico ortodoxo que se dispone a abusar de los animales, este punto de vista se pregunta particularmente cómo, a la luz de la teoría evolutiva, observa una especial dignidad intrínseca vinculada a su propia especie, pero aparentemente no a las otras. Si dicho científico argumenta que hay algunas características más propias del hombre, debe estar seguro de que esto se refiere *únicamente* a los seres humanos y no también a las especies estrechamente relacionadas, de otra forma encontraría difícil justificar los experimentos en monos (y, en este respecto, comer puercos), y simultáneamente condenar como ultrajante la sugerencia de que podríamos igualmente comer niños o idiotas. De cualquier manera, dirían algunos, lo que de buena fe no se puede hacer es permitir que las incongruencias crasas sigan en su posición moral sin ser atacadas o resueltas.

Este punto de vista no-ortodoxo no puede ignorarse. Ningún científico que se respete podrá despreciarlo tranquilamente como excéntrico o "desquiciado", ya que esto solamente sugerirá su incapacidad para refutar un argumento que plantea una amenaza clara a la postura convencional y demanda un análisis total de las dimensiones éticas propias de la ciencia fisiológica (véase *supra*).

Ciencias sociales: engaño y degradación

Los variados códigos de práctica seguidos por los científicos biólogos que trabajan con animales abordan típicamente los dilemas éti-

cos más fundamentales, del tipo que hemos discutido más arriba. Para los científicos que trabajan con seres humanos, especialmente los científicos médicos y sociales, están usualmente disponibles recomendaciones de tipo bastante más explícito, como por ejemplo las de la National Commission for the Protection of Human Subjects in Biomedical and Behavioral Research de Estados Unidos. Estas recomendaciones, sin embargo, son consideradas por la mayoría de los científicos sociales como diseñadas principalmente para la investigación médica, y como demasiado inflexibles o totalmente inaplicables en la compleja variedad de situaciones que encaran los sociólogos y los psicólogos particularmente.

El trabajo de los científicos en estas disciplinas tiende por lo tanto a poseer sus propios principios éticos. Examinaremos dos estudios *clásicos* de los años sesenta en los que estos códigos de conducta de la ciencia social fueron puestos bajo severa tensión. Cada uno de ellos ha sido tema de inmensa controversia, siendo la cuestión esencial si es o no justificable engañar, y quizá degradar, a un relativamente pequeño número de seres humanos con objeto de obtener información y comprensión sobre asuntos de amplia importancia pública. ¿Es justificable, podríamos preguntar, usar seres humanos como "medios" para alguna finalidad, o hasta el más desinteresado científico está obligado, conforme al imperativo kantiano, a tratarlos siempre como "fin en sí mismos"?

La primera investigación se refiere a la ética del "sociólogo como *voyeur*". En el libro *Tearoom trade* (1970), Laud Humphreys describe un estudio que realizó sobre la sociología del comportamiento homosexual observando contactos impersonales en sanitarios de parques o sanitarios públicos (los llamados *tearoom*). Humphreys empezó en la forma común con estudiantes de comportamiento "desviado", "yendo al campo" de sus intereses. Sin embargo, pronto empezó a concentrar la atención en el *tearoom*, porque "podía ser una contribución útil [y] parecía ser un decorado social único [...] digno de ser estudiado en sí mismo". En particular proporcionó "los medios para una observación directa de los encuentros sexuales *in situ* [y para] la concentración de una muestra representativa de invertidos secretos, para la mayoría de los cuales la unión con la subcultura de los invertidos es mínima".

Humphreys eligió sus métodos "porque prometían la mayor exactitud en términos de fidelidad hacia la gente y a sus actos tal como los viven y como ocurren. Éstas eran estrategias que consideré serían los medios disponibles menos distorsionantes —los que menos probablemente alterarían el mundo real". Primeramente se hizo pasar como *watchqueen* o cuidador de los homosexuales, protegiéndolos de intrusos potenciales durante periodos cortos, pero secretamente tomando copiosas notas sobre su comportamiento con ayuda

de una grabadora escondida en su auto estacionado cerca. Después de algún tiempo tuvo oportunidad de llevar a cabo entrevistas confidenciales fuera del *tearoom* con sujetos seleccionados, para completar sus propias observaciones. Pero una rica fuente de datos sociales fueron obtenidos anotando subrepticiamente los números de las matrículas de los automóviles de sus sujetos y presentándose como "investigador de mercado" para lograr acceso a la oficina de registro de matrículas de la policía. Habiendo obtenido así nombres y direcciones, empleó unas vacaciones de Navidad en la calle, anotando todos los datos pertinentes de habitación, barrio, estado civil y familiares, etc. para compilar un amplio expediente de cada sujeto. Finalmente, algún tiempo después, sucedió que a Humphreys se le pidió redactar un cuestionario para una encuesta sobre salud pública, y aprovechó la oportunidad para añadir sus "invertidos" al ejemplo global para la encuesta. Tuvo entonces oportunidad de recoger más información sobre el fondo familiar, salud, religión, empleo, actividades sexuales, etc., mientras que los entrevistaba —con su aspecto cuidadosamente transformado— como representante de gente "normal".

En la totalidad de su estudio, Humphreys tuvo escrupuloso cuidado en preservar la confidencialidad de sus sujetos, y su libro no representó una amenaza para los homosexuales, retratándolos como individuos comunes que a su vez no amenazaban a la sociedad. La investigación recibió un premio importante de la Society for the Study of Social Problems, sin embargo sus métodos obviamente involucraron mentiras continuas y engaños, y arriesgaron gravemente la dignidad y la reputación de sus sujetos. ¿Estuvo justificado? El mismo Humphreys contestó la pregunta: "¿Es que existen algunas áreas del comportamiento humano que no sean apropiadas en ninguna forma para su estudio social científico? ¿Deben ser el sexo, la religión, el suicidio, u otros intereses sociales sensibles, omitidos del catálogo de los campos probables de investigación sociológica?" Por su parte, ciertamente Humphreys creyó que su objetivo —no sólo aumentar el conocimiento del homosexual sino mejorar su imagen en Estados Unidos— era una amplia justificación de los medios que empleó. En ninguna forma han estado de acuerdo con él todos los científicos sociales.

La segunda investigación clásica es la descrita en *Obedience to authority* (1974) por Stanley Milgram. El propósito de su experimento psicológico era "averiguar cuándo y cómo desafiaría la gente a la autoridad ante un imperativo moral claro". Su importancia social fue considerada por Milgram en términos de una contribución hacia el entendimiento, y por tanto evitar una situación como la que prevaleció en el intento nazi de exterminar a los judíos. Pero el grado hasta el que una situación experimental simplificada puede ge-

nuinamente afirmar la reproducción de una de la vida real es, claro, un asunto debatible.

El experimento involucró a tres sujetos: un *maestro*, un *aprendiz* y el experimentador mismo (la figura de autoridad). El reclutamiento de maestros se hizo por medio de un anuncio en un periódico local y éstos recibían remuneración por sus servicios. Un maestro y un aprendiz actuaban en cada sesión y mediante un sorteo se decidía quién actuaría en cada papel. Sin embargo, sin que lo supiera el ingenuo sujeto, el método del sorteo era alterado para asegurar que él o ella fueran siempre el maestro, mientras que el aprendiz (o "víctima") era, de hecho, un cómplice, cuidadosamente entrenado para desempeñar su papel. El experimento se interesaba en los efectos de castigos en el aprendizaje. El papel del maestro era dar choques eléctricos de intensidad creciente al aprendiz, cada vez que éste cometía un error en tareas simples de aprendizaje. En realidad, el aprendiz no recibía ningún choque, pero proporcionaba una *retroalimentación* graduada y audible al maestro, desde gruñidos suaves hasta gritos aparentemente angustiosos, proporcionales a la fuerza del "choque". Antes de iniciar la sesión, el maestro mismo recibía un choque eléctrico suave para aumentar su confianza en la autenticidad del generador de choques sobre el que tenía control, y también estaba presente cuando el aprendiz era amarrado en una "silla eléctrica". Sin embargo, una vez que empezaban, el maestro ya no podía ver al aprendiz, aunque se hallaba en presencia del sombrío e impasible experimentador. Este último ordenaba al maestro que presentara la tarea de aprendizaje al aprendiz del cuarto contiguo y que, por cada respuesta equivocada, debía administrar un choque eléctrico, empezando en 15 voltios (choque ligero) y aumentando en forma creciente otros 15 voltios por cada error subsecuente, pasando por el "choque fuerte" y el "choque intenso", hasta alcanzar el de "peligro: choque severo". La finalidad del experimento, dijo Milgram, era "ver hasta dónde llegará una persona en una situación concreta y mensurable en la que se le ordena infligir daño creciente a una víctima que protesta. ¿En qué punto el sujeto (maestro) rehusará obedecer al experimentador?"

El experimento hizo surgir conflictos obvios e intensos en los maestros.

Por una parte, el sufrimiento manifiesto del aprendiz lo impulsa a abandonar. Por la otra, el experimentador, una autoridad legítima con la que el sujeto siente algún compromiso, le ordena continuar. Para liberarse de la situación, el sujeto debe lograr un rompimiento nítido con la autoridad.

Con respecto al maestro, la única medida concreta que se registra-

ba era el choque máximo que estaba preparado a administrar antes de rehusarse a seguir cooperando. Al final de la sesión se le aseguraba que el aprendiz en realidad no había recibido ningún choque, sin importar si había sido renuente u obediente respecto al experimentador, y que su comportamiento había sido perfectamente normal. Así se intentó de algún modo evitar en el maestro peligrosos sentimientos de culpa al descubrir, quizá, desagradables aspectos de su propia naturaleza, y sin embargo es sobre este aspecto de la investigación sobre el que recientemente se han dirigido muchas censuras (aunque también, claro está, sobre el asunto del engaño mismo). Así, la primera cuestión moral en esto es saber si los experimentos implicaban degradación injustificable de los sujetos, al ser confrontados con un conocimiento de sí mismos que no buscaban.

La investigación de Milgram, como la de Humphreys, fue primero recibida con aplausos, aunque en años recientes ha sido extensamente condenada. Este cambio de opinión refleja una clara separación entre el punto de vista de que la justicia o la injusticia de un acto puede evaluarse en términos de sus consecuencias (por ejemplo si la incomodidad de los sujetos en los experimentos de Milgram estaba justificada por la contribución que hacían a nuestra comprensión de la naturaleza humana) y aquel que afirma que algunos actos son intrínsecamente malos, sin importar cuáles puedan ser los beneficios potenciales. Ésta es una controversia que los científicos sociales, particularmente, cada vez más se ven obligados a confrontar.

PROBLEMAS MORALES EN LA CIENCIA Y EN LA GUERRA

Como sección final de este capítulo es importante que examinemos brevemente algunas de las cuestiones éticas que surgen en las relaciones entre la ciencia y la guerra. Durante los años sesenta y setenta se generaron una buena cantidad de los sentimientos *anticiencia* (véase el siguiente capítulo), indudablemente activados por la extendida asociación de algunas actividades científicas con la guerra y la preparación para la guerra. Es innegable que esta asociación existe (véase el capítulo precedente) y no es muy difícil entender que dé paso al disgusto y a la desilusión.

Esa asociación no es en sí misma un fenómeno moderno, aunque su escala a partir de la segunda guerra mundial es algo bastante nuevo. Desde los tiempos antiguos las habilidades de los hombres de mentalidad técnica han sido aprovechadas para las necesidades de sus naciones en tiempos de guerra (podríamos pensar, por ejemplo, en los espejos y las máquinas de asedio de Arquímedes), y no es exagerado decir que los orígenes de la ciencia en el sentido moderno

tienen mucho que ver con la guerra. En la ingeniería de Leonardo, la hidrostática de Stevin, y la mecánica matemática de Galileo, vemos el surgimiento del "experto" científico y técnico. A partir del siglo XIX —ese periodo de prolíficas innovaciones tecnológicas que contempló el desarrollo del ferrocarril, el barco de vapor, el telégrafo, los explosivos, etc.—, vemos los principios de la moderna carrera armamentista. Cualesquiera que hayan sido las cuestiones éticas que surgieron en esa época, la guía esencial para justificar las acciones era, y en realidad sigue siendo, el principio: "Si nosotros no lo hacemos, los contrarios lo harán."

No estamos interesados aquí en catalogar los innumerables casos de la influencia de la ciencia en la guerra, sino sólo en identificar los elementos morales en sus recíprocas interacciones que lanzan una sombra tan negra sobre el mundo moderno. A pesar del horror y el miedo universal a la guerra, estas interacciones continúan acelerándose, aparentemente porque son "inevitables" en un mundo que está dominado por tecnología relacionada con la ciencia y que tan manifiestamente carece de "ética de pacto", de confianza y obligación mutuas (véase las pp. 170-171).

Una famosa expresión de la opinión de que las relaciones estrechas entre la ciencia y la máquina de guerra no sólo son inevitables sino realmente deseables, es la conclusión del United States Government Study Group, quien publicó en 1968 sus conclusiones bajo el título *Report from Iron Mountain on the possibility and desirability of peace* (Lewis).

> La guerra es la principal fuerza motivadora del desarrollo de la ciencia en todos los niveles, desde el abstractamente conceptual hasta el estrechamente tecnológico. La sociedad moderna otorga un alto valor a la ciencia pura, pero es innegable históricamente que todos los descubrimientos significativos que se han hecho sobre el mundo natural han sido inspirados por las necesidades militares reales o imaginarias de sus épocas.

Obviamente ésta es una opinión extremista que puede refutarse con ejemplos específicos. Sin embargo, en ningún modo carece de fundamento. Ciertamente, después de la primera guerra mundial, numerosos desarrollos científicos parten de la llamada investigación de defensa. Por ejemplo: la movilización de científicos que con el tiempo ocurrió en esa época, condujo rápidamente a la aplicación de principios fundamentales de física y química para trabajar en aparatos como micrófonos piezoeléctricos para localización de submarinos, y para desarrollar un gas venenoso como arma de batalla.

Los gases asfixiantes (o de guerra) constituyeron el más famoso, y también el más controvertido, desarrollo del periodo. Aunque los

alemanes —que a principios del siglo XX eran abrumadoramente poderosos en ingeniería y en tecnología— fueron los primeros en usar el gas, los británicos y los franceses pronto devolvieron el golpe sin muchos miramientos para las cuestiones de ética implícitas. Los gases de cloro, fosgeno y mostaza (imperita: sulfuro de diclorodietilo) se usaron en gran escala causando cerca de un millón de muertes, pero de particular interés en el presente contexto es la afirmación de muchos científicos de que la guerra con gas era realmente más "humana" que la llevada a cabo con explosivos. Aunque el gas podía estacionarse sobre una vasta área, las lesiones incapacitantes eran a menudo menos serias, y la recuperación total más factible que con las armas convencionales. Éste no era el punto de vista oficial, sin embargo, ya que la guerra química había sido prohibida por la Convención de La Haya desde 1899, y nuevamente por el Protocolo de Ginebra de 1925. En los años treinta, el desarrollo del "gas neurotóxico", de una potencia casi increíble, introdujo una dimensión completamente nueva, pero hasta ahora el horripilante potencial de armas semejantes parece haber operado como disuasivo mutuo, indicando que en este nivel extremo (al igual que con las armas estratégicas termonucleares) el temor a la guerra puede ser un miedo "efectivo" que, únicamente por razones realistas, produce una proscripción que podía no haber surgido de motivos éticos solos.

En la época de la segunda guerra mundial, fue claro que el resultado total del conflicto militar lo decidirían las aplicaciones de la ciencia. La posibilidad de bombardeos aéreos se probó como el estímulo esencial para lograr la invención del radar. Este aparato dio a la Royal Air Force el dominio del espacio aéreo en la crítica Batalla de Gran Bretaña, y desde entonces ha sido el eje de todos los sistemas diseñados para dar aviso a tiempo de un ataque de la aviación o de los misiles enemigos. La idea de usar ondas pulsantes de radio, que podían detectarse después de que se reflejaran en un avión, se les ocurrió más o menos simultáneamente a los físicos en Alemania, Inglaterra y Estados Unidos, pero fue el invento del magnetrón de cavidades resonantes por un grupo de científicos "puros" que en tiempos de guerra trabajaba en la Universidad de Birmingham, lo que hizo posible un sistema realmente sofisticado. El magnetrón podía generar un rayo de radiación de alta potencia en longitudes de onda corta (microondas) y su desarrollo por los Aliados les dio una ventaja decisiva en la detección de aviones y en su intercepción. Una vez más hubo pocas, si las hubo, voces de desacuerdo entre los científicos, ya que el terror de la *Blitzkrieg* y el impensable horror de una victoria nazi disipó las dudas sobre la justificación moral de resistencia y venganza.

El concepto de movilización en un esfuerzo bélico, no únicamente de científicos individuales sino de la misma ciencia, reflejó una

actitud totalmente nueva del gobierno hacia la ciencia, y desde entonces se ha mantenido. En Estados Unidos este cambio fue especialmente dramático. Mientras que antes de 1940 hubo "indiferencia mutua" entre la ciencia y el gobierno, el efecto de la guerra fue convencer a los científicos —especialmente hacer que se dieran cuenta— de que, sin importar lo ambivalentes que fueran sus sentimientos sobre si la ciencia necesitaba del gobierno, sin duda el gobierno necesitaba urgentemente de la ciencia. Como lo escribe Daniel Greenberg:

> La suplicante fracasada la emprendió para salvar al patrono que la rechazaba, y puede argumentarse razonablemente que esa huérfana hizo a largo plazo precisamente eso, con el despliegue de convencimiento, habilidad política y desempeño técnico que forma uno de los más llamativos capítulos de la historia de la nación [...]

El hecho de que la huérfana haya florecido hasta la misma cumbre del poderío político y militar fue apresurado por el catastrófico incidente de Pearl Harbour, que condujo al establecimiento del Proyecto Manhattan en junio de 1942, un esfuerzo enorme e intrincadamente organizado, dirigido por el ejército de Estados Unidos para diseñar y construir una bomba atómica. La extraordinaria rapidez con que logró su fin representa algo más que únicamente *el* ejemplo clásico del efecto de la presión de la guerra sobre la ciencia (ya que existía un temor desesperado de que los alemanes construyeran la bomba antes que ellos); provocó una situación totalmente nueva en las relaciones internacionales, ya que con el desarrollo subsecuente de la bomba de hidrógeno el hombre tenía a su alcance la capacidad de aniquilar toda la vida civilizada sobre la tierra. No causa la mínima sorpresa que esto provocara entre los propios científicos dilemas éticos del tipo más profundo.

Más allá de que el imperativo científico de universalismo o internacionalismo ya no era compatible con la dependencia de la ciencia hacia el estado provocada por la guerra, por primera vez en la historia la ciencia se había convertido en *el* agente del estado y para el científico individual existía el angustioso problema de la doble lealtad, por una parte al espíritu cooperativo de la ciencia, y por la otra a las necesidades competitivas del nacionalismo. Cualquier vestigio de moral o de desinterés político había sido barrido por el sensacional éxito del Proyecto Manhattan, y como ya hemos dicho el problema inicial sobre si *debía* construirse la bomba atómica nunca fue encarado seriamente en vista del avanzado estado de las hostilidades y las espantosas sospechas concernientes a las actividades de investigación en el "otro lado". Respecto de si la bomba, una vez construida, debía realmente usarse contra los japoneses, hubo de

hecho muchos exámenes espirituales en Estados Unidos, y sinceras diferencias de opinión. En este caso, sin embargo, no se advirtió claramente sobre el potencial de la bomba, ya que la idea de una demostración inofensiva fue abandonada como impracticable, porque no había certeza de si el arma podía realmente funcionar. La destrucción de Hiroshima, y después de Nagasaki, fue llevada a cabo con el propósito militar de detener la guerra japonesa lo más pronto posible. El número de muertos estadunidenses fue por lo tanto reducido y, según la mayoría de los expertos, los muertos japoneses (más de un cuarto de millón de personas) fueron probablemente menos de lo que se hubiera esperado como resultado de los ataques aéreos convencionales y de la invasión. Pero el horror de la devastación y las consecuencias teratogénicas a largo plazo plantearon cuestiones éticas que siguen sin respuesta hasta nuestros días.

El amplio apoyo que en 1945 el gobierno estadunidense dio a los científicos empezó a disminuir en los primeros años cincuenta. La nueva dimensión era la bomba de hidrógeno. Mientras que con la bomba atómica —que es producto de la fisión de átomos de elementos pesados— hay límites teóricos para su tamaño y por lo tanto para su poder destructivo, con la bomba de hidrógeno —que depende de la fusión de átomos de elementos ligeros— no existe ese límite y el poder destructivo es de auténtico genocidio. Para esta época el mundo había entrado en un periodo de guerra "fría" en vez de guerra real, y sin la urgencia alarmante producida por esta última, la cuestión de si la bomba debía o no desarrollarse fue en esta ocasión ampliamente debatida. El grupo científico consultivo de la US Atomic Energy Commission, presidido por J. Robert Oppenheimer —el director en tiempos de guerra del laboratorio principal del Proyecto Manhattan—, se pronunció en contra de su desarrollo, principalmente por los intolerables riesgos que presentaba para la supervivencia de la humanidad. El grupo fue, por lo tanto, motivado por intereses universales más que estrechamente nacionalistas, pero es apenas justo agregar que actuaban desde una posición de fuerza considerable. Se creía que la superioridad norteamericana en tecnología sobre armas nucleares era tan marcada que un acto de renuncia —que plausiblemente pudo impedir la proliferación de los armamentos nucleares— en ninguna forma hubiera sido amenazante para la seguridad nacional. Sin embargo, su posición fue aplastada por el gobierno; la bomba de hidrógeno fue construida y probada; y el mismo Oppenheimer sufrió la trágica afrenta de ser despedido y de que se cancelara su certificado de seguridad.

La dolorosa implicación de Oppenheimer en el debate moral y político desató una nueva era en la que los expertos científicos no sólo llegaron a aceptar su nuevo papel "politizado", sino también a maniatar sus puntos de vista personales. A este respecto es importante

hacer notar que si bien Oppenheimer fue indudablemente catalogado como héroe y mártir por los liberales, en ninguna forma recibió apoyo universal por parte de sus colegas físicos; en realidad uno de gran influencia que se le opuso fue el llamado padre de la bomba de hidrógeno, Edward Teller. En esta forma se hicieron profundas y dañinas divisiones entre las filas de los científicos, así como entre los científicos y los políticos, pero el rasgo notable de la nueva era fue el abierto disentimiento de algunas de las más notables autoridades científicas. Para éstas, el espíritu de cooperación fomentado por la ciencia era un asunto de experiencia personal; un sentido de comunidad internacional trascendió el miedo y la exaltación, que consideraron la fuente del nacionalismo competitivo.

El movimiento de disensión iba a encontrar su expresión final en la Conferencia Pugwash (que se congregó por primera vez en el pueblo de ese nombre en Nueva Escocia en 1957), en cuyas reuniones anuales hay discusiones minuciosas entre expertos orientales y occidentales sobre asuntos concernientes al desarme y la paz mundial. Pugwash ha tenido una influencia discreta pero significativa en las relaciones políticas de las grandes potencias, mientras que movimientos más específicos se han concentrado en asuntos como los sistemas de defensa de misiles antibalísticos, la guerra biológica y química, y en la situación del espacio frente a la posibilidad de una guerra en la tierra. Terminemos con una nota optimista: al parecer una nueva "conciencia" está surgiendo y, como dice John Ziman, la "Gran Ciencia ha llegado a la madurez en Estados Unidos, y está ahora conociendo la carga y las responsabilidades morales de ser un estado de la Nación".

8. CIENCIA, CULTURA Y RELIGIÓN

Nadie podría hoy en día argumentar que la ciencia puede operar en el vacío intelectual, guiada únicamente por su lógica interna y su *ethos* universal. Hemos visto en los capítulos previos que hay muchos ejemplos de cómo los modelos idealizados de ciencia —como un sistema *puro* y autorregulado que intercambia conocimiento por reconocimiento— se habían roto, simplemente porque su independencia de otras fuerzas no podía mantenerse. Como resultado, sabemos ahora que el mundo científico es parte integral del mundo "impuro" en su totalidad, y como tal está sujeto a las fuerzas políticas, económicas y otras más que lo "prostituyen" para beneficio militar o comercial.

La interferencia en el llamado *ethos* de la ciencia por intereses sociales basados en valores bastante contrastantes, significa que la ciencia no puede escapar ni al impacto de estas actitudes diferentes ni a la comparación con "puntos de vista mundiales" competitivos. Afortunadamente ésta no es una situación tan enfermiza como puede parecer, y nuestro propósito en este capítulo es examinar las razones de ello. Primeramente observaremos la influencia sobre la ciencia de una sociedad que todavía exhibe una organización injusta y jerárquica; en segundo lugar, varias actitudes críticas hacia el papel de la ciencia como subcultura intelectual dentro de la compleja sociedad y, finalmente, algunos de los asuntos principales que afectan las relaciones del individuo con la ciencia y con las opiniones alternativas, y a menudo conflictivas, del mundo, proporcionadas por la religión. Al hacer esto esperamos obtener una perspectiva más equilibrada, observando la ciencia desde el exterior de sus sagrados recintos. Veremos, por ejemplo, que la ciencia no necesita ser la monocultura exclusiva o la religión secular que algunos de sus defensores quieren hacernos creer, sino que puede tratarse como una más de las ideologías posibles a las que nosotros, y la sociedad, podemos adherirnos. Una vez admitido, una actitud pluralista de este tipo puede engendrar la compasión, la tolerancia y la sabiduría que, juntas, son necesarias para que la ciencia, operando en un mundo moderno profundamente perturbado, pueda satisfacer las múltiples aspiraciones de la humanidad.

LA ESTRATIFICACIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA

No sólo es una caricatura idealizada de la ciencia la que la pinta como una meritocracia. De hecho hay una buena cantidad de evidencia empírica de que, como institución social, la ciencia es excepcional para distribuir recompensas y para determinar sus rangos sobre la base de lo que percibe como calidad de un trabajo. Aunque no sin mácula, el mundo científico parece operar, respecto de empresas comparables, con un mayor grado de independencia de factores como nacionalidad, raza, sexo y religión de sus practicantes. Cuando ocurre la discriminación en una u otra de estas esferas, a menudo no es otra cosa que reflejo de las actitudes propias de una sociedad más amplia, actitudes que la ciencia, como parte de esa sociedad, no puede eludir. Pero es importante darse cuenta de que la frecuencia de actitudes discriminatorias que se atribuyen a la ciencia no necesita ser, en el sentido estricto, evidencia de discriminación dentro de la institución misma de la ciencia.

La situación prevaleciente dentro de la institución científica puede parecer en primera instancia paradójica, ya que el resultado de su estructura igualitaria y meritocrática es una extrema desigualdad y estratificación. Tal como vimos en el capítulo 6, sólo una pequeña porción de todos los científicos son lo suficientemente talentosos para hacer descubrimientos de primerísima importancia, y es en esta élite donde se acumulan las mayores recompensas. Quizá no sea sorprendente que este inherente sistema de estratificación esté reforzado por la acumulación progresiva de ventajas y desventajas, ya que los individuos de mayor éxito tienen acceso a las mejores instalaciones y a las mentes más despiertas, mientras que sus semejantes menos afortunados vegetan en entornos poco estimulantes o entre los abandonados del grupo de científicos productivos. Así, es por estos medios como el mundo científico se polariza en pequeños grupos de "poseedores" y un gran grupo de "carentes".

¿Podría ser que el mecanismo responsable de esta organización jerárquica dentro de la ciencia sea también el causante de la posición de los grupos "minoritarios", como las mujeres o los negros, que tradicionalmente han desempeñado un papel ínfimo en la institución científica? ¿Y podría esa polarización *dentro* de la comunidad científica alentar en alguna forma la polarización que demasiado a menudo resulta *de* las aplicaciones externas de la ciencia?

Sobre la primera pregunta, parece plausible que el ciclo de ventaja y desventaja que ha operado desde hace mucho tiempo para los "hombres blancos de la ciencia" bien podría operar para los negros. (La posición de las mujeres es considerada más detalladamente en la siguiente sección.) Su posición ha sido análoga a la de los blancos subprivilegiados, provincianos, sin posibilidad de acceso a las insti-

tuciones de excelencia científica, a los mejores científicos maduros y a las mejores instalaciones de investigación. Pero, claro está, además de esto los negros han sido víctimas de actitudes racistas arraigadas históricamente, las cuales sostenían haber encontrado diferencias "naturales" de fisiología y psicología suficientes para explicar una aparente incompetencia de aquéllos. Como insinuamos antes, hay abundante evidencia de discriminación social, pero no es claro que sea discriminación en la ciencia.

Lo que es claro —alarmantemente para muchos escritores "no blancos"— es que la ciencia tecnológica moderna discrimina descaradamente en favor de los intereses del opulento Norte, a expensas del empobrecido Sur. Este problema se ve como una desigual distribución de los recursos mundiales, unida a un insidioso proceso de colonización económica; ambos típicamente bajo la guía política del sistema *capitalista* (véase *infra: La contracultura: la anticiencia*). Hay sin embargo una contradicción en el impacto de la ciencia y la tecnología sobre el Tercer Mundo (y, en realidad, sobre grupos minoritarios dentro de la sociedad occidental). Por una parte se reconoce como una fuerza liberadora de condiciones de trabajo intolerables y de enfermedad, mientras que por la otra es explotadora e "imperialista", impulsando la industrialización al estilo occidental y los valores occidentales en comunidades que todavía no cubren necesidades elementales como alimentación adecuada, vestido, abrigo, servicios médicos y educativos, transportación y empleo.

Con todo lo cínica y parcial que pueda parecer esta interpretación, nos dice una buena parte de verdad. Y apenas es necesario agregar que es parte de un problema de tal magnitud que cualquier estabilidad mundial de largo plazo parece inconcebible sin su solución. Sin embargo, proponer respuestas aun apenas delineadas para semejante problema nos llevaría a estudios de política científica polémicos, así como a cuestiones de ética y política que ya consideramos en el capítulo 7, y a las que nos volveremos a referir más adelante. Por el momento, es quizá mejor que retornemos a la cuestión de la estratificación *dentro* de la ciencia, examinando las frecuentes actitudes discriminatorias hacia las mujeres.

Sexo, ciencia y sociedad

En forma abrumadora, los científicos más "grandes" de la historia han sido varones. Hasta tiempos relativamente recientes, las causas subyacentes a este estado de cosas raramente se investigaron, así de poderosas eran las presiones culturales e ideológicas sobre las mujeres para conformarlas a las normas de docilidad femenina y servidumbre doméstica. Sin embargo, con el surgimiento del mo-

vimiento feminista y la consiguiente expansión del interés de las mujeres por áreas ajenas al hogar y la familia, se han desafiado cada vez más los estereotipos tradicionales y sus consecuencias sociales. Los sociólogos han hecho investigaciones detalladas de la naturaleza y extensión de la discriminación sexista en general, y actualmente hay una buena cantidad de información relacionada específicamente con la ciencia. Junto con la literatura erudita, debemos decir que ha habido también una afluencia cada vez mayor de artículos escritos por feministas comprometidas, los cuales son de calidad variable y cubren desde análisis agudos de problemas particulares hasta las más generales y amargas diatribas contra la sociedad dominada por los varones. Cada artículo posee su propio interés, aunque en casos extremos debe temerse que la concentración en la pluma de una dama del tipo de agresión mordaz más comúnmente asociada con los peores hombres, podría ser contraproducente para el movimiento feminista en forma global.

En cualquier caso, es por la fuerza de las pasiones generadas por hechos tan discutibles como la discriminación sexual, que rara vez se relaciona con la cualidad de evidencia de apoyo, por lo que somos afortunados de tener a nuestra disposición un artículo y un libro del respetado erudito norteamericano, Jonathan Cole. El primero, "Women in American Science" (1975), fue escrito junto con su igualmente distinguida compatriota, Harriet Zuckerman, y se refiere a la llamada triple penalidad, tradicionalmente sufrida por las mujeres en su intento de penetrar en el medio científico. Con esto los autores tenían en mente, primero, las barreras culturales que definen a la ciencia como una carrera inapropiada para las mujeres; después, las actitudes de desprecio adoptadas a menudo por los científicos varones que han logrado desempeñar la profesión, actitudes que las condenan como incapaces de trabajo creativo, y por último la discriminación real en términos de barreras organizativas con respecto al reparto de oportunidades y recompensas científicas. En el libro de Cole, *Fair science* (1979), se examinan con mayor amplitud las creencias actuales sobre el trato a las mujeres en el medio científico, mientras que el ambiguo título del libro resumía brillantemente su análisis de la posición de las mujeres en una comunidad que se enorgullece de operar completamente con criterios equitativos de reconocimiento.

Las investigaciones sugerían que la posición de la mujer en la ciencia podría determinarse por una combinación de dos factores potenciales, *selección social* y *autoselección*. En esta relación, el término selección social se refiere a la discriminación contra las mujeres por instituciones que emplean científicos. Esto, claro, es justamente el tipo de prejuicio que temen y esperan las feministas, pero la evidencia muestra, al menos en los Estados Unidos moder-

nos, que semejante discriminación es ampliamente ilusoria. La ciencia parece que *es* sustancialmente meritocrática.

La autoselección, por otra parte —aunque es inducida por presiones sociales de sutileza variable—, no es realizada por las universidades y los establecimientos de investigación sino más bien por las mismas mujeres. Este proceso parece ser de considerable importancia, y explica en parte por qué la discriminación sexual *dentro* de la ciencia es comparativamente rara, ya que la mayoría de las mujeres simplemente eligen por voluntad propia no ingresar. Si llegan a competir dentro de la meritocracia científica, a menudo se revela que las mujeres son confrontadas con una especie de "lo tomas o lo dejas": o bien pueden "tener éxito negando su femineidad, o fracasar, conforme a su inferioridad". Igual que con el raro científico negro, la mujer que ansía éxito tiene primero que obtener un estatus "honorario" que la haga efectivamente indistinguible de la mayoría de sus colegas (masculinos). Por ejemplo, para obtener una independencia y una movilidad comparable a la que gozan la mayoría de sus colegas varones casados, generalmente se ve obligada a permanecer soltera. Aun si permanece soltera, parece que lo más probable es que los honores científicos *más altos* se le nieguen más que a hombres similarmente calificados, lo cual es con toda probabilidad la evidencia de un prejuicio crónico existente *dentro* de la ciencia.

En vista de las realidades de la autoselección inducida socialmente, no es inesperado que los valores de la sociedad más amplia se reflejen en los tipos de ciencia a la que ingresan. Hablando en forma aproximada, mientras "más dura" sea la disciplina, más raras son las practicantes femeninas; por ejemplo, de los grados de doctorado estadunidenses concedidos en 1970, las mujeres obtuvieron el 3% en física y astronomía, 8% en química, 15 en biología, 18 en sociología y 24% en psicología. Más aún, mientras que entre los hombres alcanzar un doctorado tiende a ser considerado sólo una iniciación en la profesión, con las mujeres muy a menudo significa el final del camino de investigación. Habiéndolo logrado, las mujeres típicamente se entregan a actividades que no son propiamente de investigación (por ejemplo, la enseñanza), las cuales no sólo producen menos prestigio sino que también dan por resultado una baja tasa de producción en la única mercancía, el conocimiento, que la comunidad científica valora. Como resultado, ellas —junto con los científicos varones improductivos— reciben pocos premios y comúnmente se les encuentra en el fondo de la jerarquía científica.

Indudablemente han ocurrido mejorías para los científicos femeninos en años recientes de acuerdo con la liberalización de actitudes públicas, en particular las concernientes a carreras para mujeres solteras. Por ejemplo, en simples términos estadísticos, el porcentaje de doctorados en ciencia obtenidos por mujeres en Esta-

dos Unidos se elevó de 11 en 1969 a 23 en 1976 (aunque, como ya hemos visto, una pequeña proporción de mujeres en realidad continúan la investigación posteriormente). El movimiento feminista ha sido una fuerza mayor en este avance, destruyendo muchos de los mitos sobre las mujeres, creando una conciencia más amplia de su igualdad de derechos y exigiendo acción positiva y legislativa. Entre sus escritoras más radicales se ha dedicado una buena cantidad de espacio a la disonancia entre las supuestas características personales de los científicos "típicamente" creativos (agresivo, competitivo, y hasta exhibicionista) y el papel pasivo, desinteresado y de manipulación para el que han sido socializadas la mayoría de las mujeres. En estos términos, la misma ideología de la ciencia es por lo tanto identificada como masculina, y fundamentalmente ajena a la mujer estereotipada.

Se han sugerido dos posibles soluciones a este dilema: o las mujeres deben ser "reformadas" en dirección de la idealizada personalidad masculina, haciendo que su femineidad se sumerja bajo un disfraz más positivo —lo cual, entre otras cosas, haría surgir una multitud de problemas concernientes a la naturaleza y distribución de las responsabilidades de paternidad—, o bien la ciencia misma deberá en alguna forma hacerse más "femenina". Para mucha gente de ambos sexos, la primera opción parece derrotista, así como imposible e indeseable. En lo que respecta a la segunda se ha argumentado convincentemente que puesto que no hay disminución de atributos positivos dentro de la esfera femenina tradicional, el progreso —tanto el científico como el humano— puede lograr un equilibrio más saludable si éstos se acomodaran como complementos naturales de los atributos masculinos que dominan actualmente. Difícilmente puede dudarse de que una transformación semejante podría tener profundas consecuencias en la estructura y dirección de la práctica científica.

ESTUDIOS CIENTÍFICOS CRÍTICOS

Raíces de desencanto

Los variados elementos ideológicos identificados dentro de la compleja entidad llamada ciencia (incluyendo el sexismo y el cientismo mismo) han provocado en época reciente un coro de críticas igualmente variadas. A pesar de su creciente dominio sobre nuestras vidas, por medio de un método especialmente eficiente y por sus innumerables aplicaciones en la tecnología, la actitud científica del

mundo no ha probado ser la panacea que algunos optimistas del siglo XIX creyeron inevitable. Más aún, el precio pagado en términos de la declinación de actitudes antiguas y tradicionales ha sido, según los críticos, en muchas formas excesivo. Es urgente la reconsideración de los valores fundamentales antes de que, según dicen, sea demasiado tarde.

La crítica de la ciencia, especialmente de su concepción del mundo más mecanicista y materialista, no es nueva. Las raíces se extienden muy atrás en la historia, al menos hasta la revolución científica de los siglo XVI y XVII, que hoy día se entiende en términos de la lucha por la dominación entre tres tradiciones intelectuales u "opiniones del mundo" relativamente distintas. Hubo primero un esquema prodigioso derivado de Aristóteles, de un universo divinamente ordenado, tomado por analogía con el crecimiento y la decadencia de los organismos vivientes. Este esquema reinó, sin ser atacado, como la doctrina de la ortodoxia durante dos mil años, siendo a la vez tan irresistible y tan amplia que cualquier otra alternativa parecía inconcebible e innecesaria. Su ocasional crítica y su destronamiento fueron posibles sólo en una época de fermento social e intelectual excepcional: las guerras, rebeliones y las crisis constitucionales, y el fértil radicalismo en teología, política y economía, todos ellos asociados quizás en alguna forma con la rápida expansión del conocimiento del mundo físico.

Finalmente, durante este gran periodo revolucionario, que atestiguó la traducción de muchos textos griegos antiguos, las obras completas de Platón pudieron obtenerse en Occidente, aunque todavía en la forma "impura" del neoplatonismo. Estas enseñanzas neoplatónicas fueron bienvenidas por aquellos humanistas eruditos que, intoxicados con la nueva atmósfera de descubrimiento y de progreso, detectaron en la concepción mística y matemática del mundo un rival para la tradición "orgánica" aristotélica. Mientras que esta última acentuaba lo racional y lo empírico, los defensores del esquema alternativo estaban impresionados con la "magia" y el misterio del mundo, aspectos con los que la enseñanza platónica parecía estar más acorde.

El tercer punto de vista mundial tardó algún tiempo en ganar confianza en sí mismo, pero llegó a triunfar sobre todos. Su base principal no se encuentra ni en Aristóteles ni en Platón sino en las obras, también en ese entonces recientemente traducidas, de los atomistas griegos y en la mecánica de Arquímedes. Estas raíces proporcionaron la base para una concepción cuantitativa y optimista del universo que surgió en forma definitiva a finales del siglo XVII, pero con tal vigor que en un tiempo comparativamente corto alcanzó un grado de superioridad que era incompatible con la supervivencia de sus competidores. Su dominio ha sido inquebrantable hasta el pre-

sente, aunque se iniciaron serios cuestionamientos con la aparición de la *nueva física* en las épocas tempranas del presente siglo (véase el capítulo 5).

Fue esta filosofía atomística-mecanicista la que surgió como *el* punto de vista científico del mundo moderno. Asociada directa o indirectamente (y, como lo han mostrado investigaciones recientes, a menudo equivocadamente) con las doctrinas de Bacon, Descartes, Galileo, Boyle, Newton, Hobbes, Locke y Hume, representó un intento por separar la ciencia de la religión, haciéndola depender únicamente de la experiencia del mundo físico (empirismo). Al hacerlo tuvo el efecto de separar completamente el conocimiento de los hechos sobre el mundo, de valores al parecer intrínsecamente humanos como la bondad, la verdad y la belleza. Hasta aquí, los hechos y los valores habían estado fundidos esencialmente como dos aspectos de una realidad, al menos en el contexto cristiano, destacando a los valores (que eran trascendentales) definitivamente como la parte dominante. En el nuevo empirismo no sólo se separaban hechos y valores sino que, dado que se concedía gran importancia al conocimiento de los fenómenos físicos, la posición de los valores abstractos se volvió claramente secundaria.

Hacia el siglo XVIII la filosofía empírica recibió un nuevo impulso cuando Francia se convirtió en el centro del pensamiento "progresista", en el movimiento conocido como la Ilustración. Aunque los fundadores de este movimiento no tuvieron en ninguna forma una actitud uniforme hacia la ciencia, figuras influyentes como d'Alembert, Condorcet y Voltaire creyeron fervientemente que la amplia aplicación del método científico newtoniano garantizaría la laicización de la sociedad y aportaría los frutos de la razón y la justicia para todos. Uno de sus seguidores y compatriota, Comte, desarrolló más tarde sobre estos fundamentos la ciencia *positiva* de la sociedad, que propugnaba la colección y correlación de hechos y evitar cualquier especulación no verificable. La obra de Comte compartía algunas conjeturas básicas con las de los utilitaristas británicos, Bentham y Mill, y con los materialistas alemanes Marx y Engels, así que para principios del siglo XX, el campo era fértil para el surgimiento del positivismo lógico del Círculo de Viena. Esta filosofía, como vimos previamente, versa sobre proposiciones no fácticas, como las de la religión, desechándolas como insensatas, mientras que la ciencia se apoyaba en hechos supuestamente verificables (véase el capítulo 4).

A pesar de la enorme influencia de esta visión ortodoxa del mundo científico (cuantitativa, mecanicista-materialista, reduccionista, "realista"), siempre ha brillado la llama de una tradición alternativa que hunde sus raíces hasta el surgimiento neoplatónico del siglo XVII. Es esta concepción no ortodoxa (cualitativa, mística, holísti-

ca, "idealista") la que ha dado nacimiento a muchos estudios críticos de la ciencia en nuestros días. Hablando en general, ha evolucionado a través de trabajos de *cientistas* y filósofos como Copérnico, Kepler, Pascal, Leibnitz, Spinoza, Rousseau y Kant, hasta alcanzar un florecimiento significativo en el temprano movimiento romántico del siglo XVIII. Particularmente Rousseau propagó la idea de que la enajenación social del hombre moderno era consecuencia directa de la *civilización*, a la que veía a su vez como el producto de un punto de vista empírico del mundo. Sólo el "noble salvaje" podía tener acceso a la virtud genuina.

La continuación de la tradición alternativa neoplatónica puede hallarse en la filosofía naturalista alemana del siglo XIX, asociada más notablemente con el poeta y científico Goethe. Había aquí una concepción de la ciencia y del mundo en general que era afín a las nociones *alquimistas* como la magia natural, la universalidad de espíritu, y el reflejo del macrocosmo del universo en el microcosmo del hombre. Aunque la filosofía naturalista no podía resistir el impulso abrumador de la ciencia experimental más firme, vivía de la influyente, aunque esotérica, doctrina conocida como teosofía ("sabiduría sobre Dios"), que era una fusión de neoplatonismo con aspectos de la filosofía oriental. En busca de una raíz filosófica directa de las convicciones antiempíricas, anticiencia de la actual contracultura (véase *infra*), debemos quizá volvernos hacia el místico y educador alemán, Rudolph Steiner, cuyas enseñanzas eclécticas representan una mezcla de Goethe con la teosofía para producir un sistema que asegura que la clave para un entendimiento real del universo está dentro de la psiquis humana. En algunos aspectos, el equivalente inglés de Steiner fue el poeta Coleridge, cuyos voluminosos escritos en prosa incluyeron una profunda apreciación del ideal romántico de la ciencia.

Antes de seguir examinando la oposición contemporánea a la ciencia ortodoxa, es conveniente que discutamos primero, en términos más generales, las difíciles relaciones que se dice existen dentro de la sociedad occidental, entre la "nueva" cultura representada por el método y el conocimiento científicos, y la más tradicional cultura de los clásicos, la literatura y las bellas artes. Un conocimiento de esta tensa dicotomía nos dará una idea de cómo los vagos sentimientos de desencanto pueden acrecentarse con el aislamiento y la incomprensión, y nos llevará hasta una crítica articulada y directa.

"Las dos culturas"

Hasta cierto punto, este conflicto se ha agudizado por la forma como el estatus de la ciencia se ha elevado progresivamente, especialmente

en términos de su utilidad social, mientras que al mismo tiempo la importancia de áreas más tradicionales del saber parecen haber declinado. En época reciente, un expositor altamente influyente en este problema ha sido el novelista C.P. Snow, quien se describió a sí mismo como "por adiestramiento [...] un científico; por vocación [...] un escritor". En su célebre conferencia "The Two Cultures and the Scientific Revolution" (1959), Snow describe abiertamente, y hasta en forma provocadora, lo que consideró como asuntos principales. La palabra "cultura" tiene, como lo señaló Snow, dos significados diferentes, y ambos son aplicables a lo que él quería decir sobre la ciencia. En el primer sentido, se considera que la cultura significa "desarrollo intelectual, desarrollo de la mente", de manera que podemos decir: "tal individuo es 'culto' o 'cultivado'". Snow afirma que este significado de la palabra se aplica igualmente al desarrollo logrado por un científico durante su vocación profesional, como se hace para un hombre de letras. Sin embargo, ni el sistema científico de desarrollo mental ni el método literario tradicional son, asegura, todavía adecuados por sí mismos para resolver los graves problemas del mundo moderno.

Antes de que examinemos los problemas que Snow propone, es importante mencionar el segundo sentido con que se aplica la palabra "cultura". Se trata de su uso antropológico, que describe a un grupo de personas viviendo en el mismo sitio. Tanto los científicos como los intelectuales literarios, asegura Snow, existen como miembros de subculturas aisladas dentro de una sociedad más amplia. Cada subcultura tiene sus propias conjeturas, actitudes y estándares comunes, así como patrones de conducta comunes. Esto ha promovocado una separación de las dos comunidades, por no decir su mutua desconfianza, como: "Greenwich Village [habla] precisamente el mismo lenguaje que Chelsea, y ambos [tienen] casi la misma comunicación con el MIT, como si los científicos hablaran únicamente tibetano."

El mismo Snow adoptaba una posición poco común, ya que se apoyaba sólidamente en ambos campos. Esto puede haber contribuido al violento debate, y en particular a los ataques personales, que siguieron a la publicación de su conferencia. Las razones subyacentes a estas reacciones pueden ser un tema interesante para la especulación, pero el furor oscureció hasta cierto grado el mensaje esencial que Snow intentaba propagar. Este mensaje no sólo señalaba una pérdida intelectual en nuestra sociedad (occidental) como resultado de la incomprensión mutua de las dos culturas sino, mucho más importante, la aparición de consecuencias terribles en el papel que debe desempeñar la ciencia como alivio del inmenso e innecesario sufrimiento en el mundo. Hasta que los científicos sientan la influencia "humanizante" de la cultura tradicional, y hasta

que los intelectuales tradicionales (en cuyas manos todavía está gran parte del poder para actuar) sientan la *actual* y creciente habilidad de la ciencia para minimizar la intolerable disparidad entre ricos y pobres, seguiremos siendo incapaces de aplicar la ciencia como un instrumento para el bien, como obviamente podría hacerse. Debido a su incapacidad para producir "individuos completos", nuestro sistema actual fracasa tan miserablemente en el cumplimiento de sus deberes con la humanidad.

La única solución para este trágico problema es, según Snow, reconstruir fundamentalmente nuestro sistema educativo. Por medio de este sistema podríamos eliminar la hostilidad entre la ciencia y las artes, y desarrollar una tercera cultura superior que pueda renovar nuestra salud intelectual y moral. Esto puede llegar de la influencia de las ciencias sociales, ya que ellas están obligadas hasta cierto punto a mantener el contacto con las otras dos culturas (véanse también los comentarios en la introducción). En cualquier caso, no debemos retrasar más la introducción de una forma de educación que garantice que nuestros jóvenes "no ignoren la experiencia imaginativa, tanto en las artes como en la ciencia, ni ignoren tampoco los dones de la ciencia aplicada, o los remediables sufrimientos de la mayoría de sus compañeros humanos y las responsabilidades que, una vez percibidas, no pueden rechazarse".

Por razones humanitarias, Snow deseaba extender la *revolución científica* a todo el mundo. Se refería, claro está, a la revolución de la ciencia aplicada del siglo XX, empezando aproximadamente desde el "momento en que se hizo uso industrial de partículas atómicas [...] La sociedad industrial de la electrónica, la energía atómica y la automatización es en aspectos fundamentales diferente en su totalidad de cualquier cosa que haya habido antes, y cambiará al mundo mucho más." Para alcanzar su fin consideraba tanto la necesidad de entrenar a muchos más científicos, para acelerar el crecimiento del conocimiento científico, como la importancia de aumentar sus sensibilidades éticas exponiéndolos al mundo de la literatura.

Sin poner en duda la sincera motivación de Snow, gran número de críticos contemporáneos han cuestionado tanto la necesidad de una mayor información científica como la opinión de que la "humanidad" puede ser introducida en la ciencia únicamente por una mayor familiaridad de sus practicantes con las artes "humanas". Las dos críticas son, en mucho, parte del mismo interés general. Mientras que nadie duda de que uno de los fines principales de la ciencia es, y siempre ha sido, la expansión del conocimiento, en nuestra época les parece a muchos que esto se ha distorsionado por preferir la cantidad a la calidad. La búsqueda de hechos nuevos se ha convertido en un fin en sí misma, aunque la información buscada pueda ser, según palabras del biólogo Eric Ashby, únicamente

minúsculos análisis de recetas de cocina en un convento medieval; la estructura de las alas de un escarabajo (algún escarabajo cuyas alas no hayan sido antes estudiadas); la vida doméstica de algún oscuro poeta victoriano; el ciclo respiratorio de una lenteja acuática. Todo es, sin duda, interesante; todo, en cierta forma, se encuentra en la frontera del conocimiento, aun cuando esto sea gateando a lo largo de esa frontera con una lupa en la mano [...]

Según la relación de Snow, no se requiere de un descubrimiento científico adicional para aliviar el sufrimiento del mundo; la falta de conocimiento ya no es el problema. Lo que todavía falta es un medio seguro que permita a la humanidad discriminar entre el conocimiento que vale la pena poseer y el totalmente superfluo.

Evidentemente Snow creía (y su crítico más vituperador, F.R. Leavis, ciertamente lo creía) en el alcance de la música, o de la poesía, o de la pintura, para aumentar la conciencia y la sensibilidad humanas. Éste ha sido un tema recurrente desde la época del movimiento romántico, y debe de haber algo de cierto en ello, a pesar de las horripilantes anécdotas concernientes a los guardias de los campos de concentración nazis, quienes por la tarde volvían a casa a escuchar a Mozart en el tocadiscos. Pero cualquiera que sea el papel del arte y de las letras, lo que indudablemente parece necesario para que la ciencia pueda ser orientada hacia el bienestar del hombre más que a su destrucción, es un aumento en la conciencia moral y no únicamente de conocimiento acumulado. Hay poco que indique que el conocimiento científico, tal como lo entendemos ahora, puede aumentarse con la virtud humana, y es en relación con esto que el concepto de Michael Polanyi del "conocimiento superior" es de tanta importancia. Con esta expresión Polanyi quería decir que el conocimiento —derivado ampliamente de cada una de las subculturas de la sociedad humana—, que es aceptable para todos los "grandes hombres" de cada una de las respectivas culturas ("hombres de cuya superioridad nos confiamos, intentando [...] seguir sus enseñanzas y sus ejemplos"), es lo más valedero. En el nivel más fundamental —o quizá debiéramos decir en el nivel que trasciende los dominios de la política, de la competencia personal y nacional, etc.—, no debiera ser de hecho difícil lograr un consenso sobre qué conocimiento y qué acción serían más benéficos para la totalidad de la humanidad. En este nivel, habría poco desacuerdo sobre la urgente necesidad de aplicar lo mejor de la experiencia científica a los problemas internacionales bosquejados por Snow. En forma ideal la búsqueda y la aplicación del "conocimiento superior" puede llegar a crear un mundo de "integridad cualitativa".

La contracultura: la anticiencia

Muchos de los temores sobre la ciencia proclamados por miembros de la cultura literaria tradicional han encontrado una expresión renovada en el abierto movimiento anticiencia que se originó durante los años sesenta, en la creencia de que ideales como "integridad cualitativa" eran un paso que la alejaba más del alcance de la sociedad, como consecuencia directa de la marcha progresiva de la ciencia. Uno de los libros de mayor influencia en el movimiento ha sido *The making of a counter-culture* de Theodor Roszak (1968), que se presentó no como crítica de los ideales o del genio distintivo de la ciencia como tal, sino más bien de la *tecnocracia*, "esa forma social con la que la sociedad industrial alcanza la cúspide de su integración organizada". El movimiento anticiencia es sólo una parte de esta amplia contracultura que cuestiona muchos de los valores básicos de los estilos de vida e intereses occidentales con alternativas casi religiosas, incluyendo el misticismo, la meditación y las drogas psicodélicas. Particularmente identifica el pensamiento reduccionista como algo a lo que hay que oponerse. Por reduccionismo quiere decir esa actitud de la mente que interpreta las necesidades de la sociedad humana como una función de lo que puede lograrse técnicamente, y que después busca justificar el logro técnico invocando un conocimiento científico más básico. Más allá de esta ciencia básica ya no hay a quien recurrir, quedando claramente implícito que la ciencia representa el punto final del conocimiento confiable. Roszak cree que bajo la tecnocracia la ciencia se ha convertido en *la* cultura que domina las vidas de millones, y que el fracaso del movimiento de contracultura "no nos dejará nada sino lo que los antiutopistas, como Huxley y Orwell, han predicho" (respectivamente en *Un mundo feliz* y *1984*).

En la era del *cientismo* (capítulo 7), Roszak se da cuenta de que muchos van a leer su libro con poco más que mudo azoro. Sin embargo no duda del impacto tanto en sus críticos como en sus simpatizadores. Aun cuando la misma *contracultura* ha perdido algo de su impulso inicial, las extendidas discusiones y la multitud de publicaciones no nos dejan duda de que el movimiento anticiencia continúa creciendo y desarrollándose. Intentando entender la motivación que hay tras ello, el filósofo Stephen Toulmin (conocido defensor fiel de la ciencia desinteresada como una actividad cultural) describe la imagen de la ciencia que se sostiene para rechazo y reparación.

La ciencia, o tecnología [...] es pintada como una actividad generalizante, abstracta, lógica, mecánica, de sangre fría, entregada a políticas y prácticas colectivistas, diseñadas únicamente por su eficacia técnica y sin consideración de su consecuencia sobre los individuos heterogéneos

de carne y hueso que se encuentran en el extremo receptivo. Por falta de visión personal, de imaginación emotiva o de sentimientos sobre el impacto específico de sus actividades sobre individuos reales, el científico prosigue indiferente su camino, considerando a sus semejantes simplemente como numerosos temas extras para la experimentación social y tecnológica.

Aunque muchas de estas afirmaciones tienen sin duda rasgos caricaturescos, Toulmin sin embargo asegura que no carecen de algo de verdad. Están, argumenta, dirigidas a la profesión científica "por haber entregado a poderes temporales una empresa que más bien debiera ser conducida por valores perennes". Con esto quiere decir, claro está, que la ciencia moderna se ha unido inextricablemente con la política, mientras sigue todavía sin respuesta para aquellos cuya vidas se ven afectadas por sus acciones.

Por lo tanto existe un problema genuino y es, en pocas palabras, cómo hacer a la ciencia más "humana". Algunos argumentarán que una de las reacciones más constructivas del movimiento anticiencia ha sido el progreso de la *ciencia crítica*, representada en su sentido más general por una mayor conciencia del balance ecológico (véase *Nave espacial tierra* en el capítulo 7). Toulmin mismo ve el desarrollo de una ciencia humanitaria en términos institucionales, concibiendo un marco de cuerpos constructores de política, cuyo propósito es defender los *intereses* meramente *humanos* de los individuos en la sociedad, en contra de las actividades científicas y tecnológicas que amenazan la vida y la felicidad personal. Sin embargo, cualquier proposición concerniente a los "intereses humanos" nos lleva de nuevo a las difíciles cuestiones de calidad o de juicio moral y, para muchos, de valores espirituales, que discutimos antes en este capítulo y en el capítulo 7. Ello sugiere a Roszak, por ejemplo, que debiéramos ser capaces de preguntar, respecto de cualquier individuo que fuera a conducirnos, en qué forma su propio talento ha hecho de él una *persona total.* Pocos podrían dudar de que los ideales genuinos de la ciencia —aquellos inequívocamente en el lado de la imaginación, la humanidad y la integridad individual— podrían todavía lograrse si "rechazáramos las almas pequeñas que sólo saben ser correctas, y nos adhiriéramos a las grandes, que saben cómo ser sabias"

La crítica marxista

La sociología de la ciencia que encontramos en el capítulo 6 era casi por completo la de la corriente de la academia occidental. Al menos sólo hasta muy recientemente aceptó la ciencia tal como la encon-

traba, y se dedicaba únicamente a analizar los detalles de su estructura y su función. Pero para los marxistas una mera interpretación del mundo no es suficiente; su verdadero propósito es cambiarlo.

Un ejemplo temprano del análisis sistemático marxista del crecimiento científico fue presentado por Boris Hessen, un físico soviético, en un simposio internacional que tuvo lugar en Londres en 1931. En una famosa conferencia, Hessen argumentó que la mecánica de Isaac Newton —que tomó como modelo del surgimiento de la ciencia moderna— se desarrolló como una consecuencia directa de las fuerzas socioeconómicas del capitalismo, específicamente las necesidades de la naciente burguesía. Su tesis —que la ciencia no es en ninguna forma un subsistema discerniblemente separado en la sociedad, sino más bien un aspecto de los complejos y estrechamente relacionados procesos de desarrollo social— estaba en la tradición marxista más ortodoxa. Según los marxistas esto fue demasiado para los sociólogos ortodoxos occidentales, y provocó la explicación alternativa de Merton que destacó los valores sociales y religiosos como opuestos a las fuerzas materiales. Finalmente, como ya hemos visto, ello condujo a la noción de un *ethos* de la ciencia, que era compatible con el protestantismo y que valía la pena examinar con detalle independientemente de los factores exteriores a él.

La crítica marxista de la ciencia no es, sin embargo, tan "externalista" como holística. La ciencia, se argumenta, no puede simplemente ser una institución autónoma influida por fuerzas externas, ya que las actitudes racionales son una parte muy importante de la vida humana como para que realmente sean subsistemas sociales y científicos separados. La sociología convencional occidental de la ciencia es por lo tanto insatisfactoria en varios respectos importantes. En su insistencia sobre la obra de los *grandes hombres* de ciencia, cuyas contribuciones al cuerpo del conocimiento científico se representan virtualmente como el todo de lo que es importante, hay poco más que una "psicología social de la élite científica"; en su negativa para reconocer la unidad esencial de la ciencia y la tecnología es irremediablemente no representativa, atacando una pequeña parte como si fuese el todo; la ciencia como un todo no está, y nunca ha estado en los tiempos modernos, dedicada únicamente a la búsqueda desinteresada del conocimiento.

Es cierto que antiguamente en la época feudal había una separación casi total entre el trabajo de los eruditos y el de los artesanos, mientras que la objetividad científica y el racionalismo eran inhibidos por la abrumadora visión del mundo proporcionada por la religión. Pero con el Renacimiento, estas barreras tradicionales empezaron a romperse, cuando la surgiente clase capitalista vio que las innovaciones científicas podían ser aplicadas para ganancias comerciales; así empezó la ciencia experimental y su relación con la tec-

nología. Tras esto, la ciencia logró independencia gradual de la religión pero, dicen los marxistas, siempre sacó su inspiración de la utilidad y de la búsqueda de ganancias. En el pasado siglo XIX, la industrialización demandó formas de producción altamente socializadas y la interdependencia de todos los aspectos de la actividad humana. En nuestra época los laboratorios multidisciplinarios de investigación y desarrollo, que son un cuadro típico de la ciencia del siglo XX, han retirado el último vestigio de autonomía o de no-utilitarismo de una ciencia que es ahora completamente dependiente de los caprichos de la política o de las normas económicas.

La tendencia ideológica que los marxistas detectan en la sociología occidental de la ciencia también revela su insuficiencia como teoría sobre la forma en que ocurre el progreso. Por ejemplo, si las normas mertonianas de la ciencia pueden realmente nutrirse y mantenerse únicamente en una "sociedad democrática, moderna y liberal", pero no en las más "restrictivas" sociedades de la Europa feudal o de la Alemania nazi, ¿cómo es que ha habido tanto progreso en la Unión Soviética, en donde nunca se ha afirmado que la ciencia es autónoma y no utilitaria? Igualmente, si la ciencia occidental realmente muestra estas características ideales, ¿cómo es que tantos científicos norteamericanos se han vuelto dependientes del complejo militar-industrial?

Para la mayoría de los marxistas, claro, estas preguntas son meramente retóricas. Para ellos la ciencia se ha desarrollado según "leyes de relaciones entre la ciencia y las otras esferas vitales de la sociedad, en particular de los procesos de producción material como su base fundamental". Cualquier esquema que no puede explicar el impacto de problemas tecnológicos y, a través de ellos, de las fuerzas económicas, está condenado a quedar fuera de lugar.

La teoría marxista alternativa que se ofrece fue primeramente presentada en Occidente por J.D. Bernal en su *The social function of science* (1939), y reflejaba la influencia de Hessen. En ella hay una fuerte evocación de la importancia de circunstancias históricas específicas que promuevan las condiciones económicas necesarias para impulsar las innovaciones científicas y tecnológicas. La ciencia está subordinada a estas fuerzas históricamente determinadas y no puede existir una distinción significativa entre ciencia pura y ciencia aplicada, porque el valor del conocimiento (incluyendo el cultural) reside en su aplicación. Pero aunque la ciencia y el capitalismo fueron en un principio interdependientes —éste último impulsando a la ciencia, que entonces generaba ganancias y podía ser usada como instrumento del poder—, siempre existió, sin embargo, una contradicción inherente, porque las suposiciones y distorsiones ideológicas del capitalismo sometían a la ciencia al objetivo de la ganancia y prohibían su aplicación para el bien de la humanidad. Se asegura

que únicamente una ciencia verdaderamente *socialista* puede garantizar paz y abundancia para todos.

Aunque el mismo Marx se había dado cuenta de que aun en el siglo XIX la ciencia actuaba como una fuente indispensable de innovación en el sistema de producción capitalista, y también como una fuerza para el control social, estos temas paralelos han sido recalcados particularmente por algunos escritores contemporáneos. Así Hilary y Stephen Rose hablan de la "incorporación de la ciencia a una estrecha correspondencia con las necesidades tecnológicas e ideológicas del estado y de la industria" (tanto en el sistema político soviético como en los occidentales). La crítica de la ciencia debe hacerse entonces en términos de su dominio de la naturaleza y de la humanidad. Los caballerosos "cultivadores de la ciencia" del siglo XIX se han convertido en los oprimidos y enajenados "trabajadores científicos" de la industria moderna, sin interés en, e ignorantes del, llamado *ethos* científico, pero preocupados en cambio —al igual que otros trabajadores de la producción— por las condiciones, la seguridad y el salario. Sus habilidades se han vuelto tan especializadas, sus tareas tan definidas por las máquinas que operan, que es imposible para ellos obtener cualquier satisfacción de los productos finales que resultan de ese trabajo fragmentado.

Parece que el sueño de Francis Bacon (aplicar la ciencia para la mejoría del *estado humano*) se ha convertido ahora en una cínica pesadilla en la que el progreso humano se ha reducido al progreso técnico. La visión de Marx y Engels de una época de armonioso equilibrio entre la naturaleza y la humanidad ha sido remplazada, primero, por el dominio de la naturaleza por la ciencia y, después, por el control de la humanidad por el poder. Si hemos de creer a Marx, semejantes desarrollos son inherentes a la sociedad capitalista. Si nos dejamos influir por el filósofo neomarxista Herbert Marcuse, cuyo *One dimensional man* (1964) presenta un sombrío análisis de la sociedad permeada por la racionalidad tecnológica, encontraremos poco más que pesimismo en el devenir del mundo moderno:

> La administración científica y la división científica del trabajo incrementaron ampliamente la productividad de la empresa económica, política y cultural. Resultado: un mayor estándar de vida. Al mismo tiempo y sobre el mismo tema, esta empresa racional produjo un modo de mentalidad y comportamiento que justificaron y absolvieron hasta los más destructivos y opresivos rasgos de la empresa. La racionalidad científica y la manipulación están soldadas en nuevas formas de control social.

Sin embargo, entre algunos comentadores marxistas aún puede encontrarse el optimismo, aun cuando sus preceptos siguen siendo va-

gos. Argumentan que ya que el sistema capitalista no puede ser sino temporal, su actual dirección equivocada de la ciencia, y su explotación de la naturaleza y de la humanidad, deberá a su debido tiempo producir una *ciencia para el pueblo* realmente benéfica.

El problema de la responsabilidad

Cuando los apóstoles de la contracultura hablan de su alienación a causa de la ciencia, y los marxistas radicales se refieren a la alienación de los mismos científicos, lo que suelen tener en mente es una crítica de la ciencia que destaca las formas de investigación que amenazan la civilización. Señalan, por ejemplo, el desequilibrio entre el inmenso poder de la ciencia para conformar la sociedad y la impotencia de la sociedad para controlar el desarrollo de la ciencia. En un provocador análisis de la estructura social de la ciencia, J.R. Ravetz ha ido aún más lejos identificando un elemento contradictorio en el núcleo mismo del proceso de investigación, el cual, argumenta, es ampliamente responsable de aislar a los científicos de todo sentido de compromiso con, o responsabilidad de, los frutos de su trabajo. Es bastante concebible que este elemento también esté en la base de muchos de los conflictos entre la ciencia y la sociedad más amplia.

El argumento de Ravetz es como sigue: para muchos propósitos no podríamos dudar en considerar a la ciencia como una profesión muy desarrollada. Proporciona empleo remunerado de tiempo completo a un grupo especialmente docto de individuos y, al igual que las antiguas profesiones de leyes, medicina y la Iglesia, o una más moderna como la ingeniería, está representada por una comunidad institucionalizada con áreas específicas de interés, estándares de ejecución y normas de comportamiento. Más aún, ofrece un servicio a la comunidad reconocidamente importante. Sin embargo, hay un aspecto vital en el cual la ciencia difiere de las otras profesiones, ya que el científico individual pocas veces desempeña el papel de especialista consultivo, cuyo calibre profesional podría juzgarse por la calidad de los resultados. Una relación en la que el especialista actúa de acuerdo con los intereses de un cliente y es personalmente responsable de las consecuencias de sus actos, es a menudo la que caracteriza el trabajo del abogado, del doctor o del clérigo, a quienes probablemente se les considera responsables del estado legal de otros o de su salud corporal o espiritual. Pero mientras que a la ciencia como institución se le identifica comúnmente como el villano en relación con problemas como la contaminación o la carrera armamentista, un científico determinado, a causa de su medio (académico) o de la subordinación de su posición (industrial) muy rara-

mente es considerado así. En la mayoría de los casos el individuo aparece como un pequeño eslabón de una gigantesca y al parecer imparable rueda.

Esta falta de responsabilidad individual en el centro de una empresa que dirige en forma colectiva semejante poderío, constituye un estado de cosas profundamente perturbador; representa en realidad "un nuevo giro de una vieja fórmula de corrupción", una contradicción aparentemente inherente al proceso de investigación cuyas últimas consecuencias siguen siendo materia de especulación. ¿Podría el conocimiento de una situación tan peligrosa llevarnos a creer que una reestructuración fundamental de los ideales científicos y de las instituciones es todavía posible? ¿O simplemente ya está la contradicción demasiado arraigada como rasgo de la ciencia tecnológica moderna para justificar algo tan optimista? Como el mismo Ravetz dice, sólo el tiempo lo dirá. Mientras tanto la identificación de lo que tiene toda la apariencia de elemento maligno en el núcleo de la investigación está destinada a avivar el debate en el contexto de estudios científicos críticos.

LA CIENCIA Y LA VISIÓN RELIGIOSA DEL MUNDO

El lector que nos ha seguido hasta aquí estará ahora consciente de que la ciencia moderna tiene a su disposición un bloque de conocimientos tan vasto que ningún científico puede esperar dominar más que una pequeñísima fracción de cualquiera de sus innumerables aspectos. Sin embargo, también puede igualmente sentir que la acumulación de este conocimiento no ha ido acompañada por un crecimiento correspondiente del entendimiento fundamental del mundo. El conocimiento ha proporcionado un grado de control sin precedentes sobre los fenómenos naturales, pero ha hecho poco para dar ecuanimidad al individuo quien, fatigado quizá de su incesante expansión, se detiene momentáneamente para considerar cuestiones más profundas que tienen relación con el propósito de su propia vida. Aunque la ciencia puede sin duda decirnos algo sobre cualquier cosa, al parecer nunca puede decirnos todo lo que quisiéramos saber. En realidad, es en razón de que la ciencia tiene poco o nada que decir justamente sobre esas cuestiones que a menudo parecen ser las más importantes, por lo que mucha gente, incluyendo a los científicos practicantes, se vuelve hacia formas más tradicionales para encontrar sentido y plenitud a sus vidas personales.

Para esa gente, parece ser que el dominio del empirismo científico, al apoyarse exclusivamente en "hechos", objetividad y razón, está destruyendo la unidad esencial de la psiquis humana dividiendo bru-

talmente el conocimiento de los valores. Más aún, se teme que esta división se esté ampliando, mientras que la tecnología moderna nos bombardea interminablemente con cantidades tales de información que de hecho ya no podemos manejar; la discriminación se ha vuelto imposible una vez que la acumulación del conocimiento se convierte en un fin en sí mismo. Sin embargo, en las filosofías occidental y oriental, siempre se ha reconocido que los actos del conocimiento y del ser están inseparablemente unidos. Esto es, la calidad del conocimiento de uno mismo y la condición de la propia mente tienen una relación importante con el estado del propio ser, comprensión que a veces el budismo encierra en el aforismo: "No eres lo que piensas que eres, sino lo que piensas, eso eres."

Una expresión tan antigua y de comprensión tan profunda encuentra poca simpatía en un mundo "progresista", que reduce la sabiduría al conocimiento; el conocimiento a aislados trozos de información; los valores tradicionales a imperativos comerciales, y el individuo total a expertos unidimensionales. Como dice el filósofo Henryk Skolimowski, debemos "quitarnos muchas dicotomías y falsas distinciones, ya que a menudo están en la base de la alienación en el mundo actual. Sobre todo tenemos que restaurar la unidad de conocimiento y de valores; tenemos que darnos cuenta de que la sabiduría o el 'conocimiento ilustrado' es la clave del *significado* humano."

Ya sea que el problema del significado de la vida humana se resuelva con una renovación o con una reexploración de los antiguos ideales religiosos, finalmente será el individuo quien lo decida. Pero al menos puede tener algún valor si terminamos intentando delinear algunas de las cuestiones que deberá confrontar cualquiera que explore las relaciones recíprocas entre la ciencia y la creencia religiosa.

Relaciones con la teología cristiana

Desde los siglos XVI y XVII hasta nuestros días, la ciencia moderna ha encontrado en la autoridad establecida de la religión cristiana tanto un obstáculo como un estímulo. Aunque el papel inspirador de las actitudes religiosas y de la doctrina de la Iglesia nunca debe ser subestimado, la mayor atención se ha dirigido siempre hacia el "conflicto" entre la ciencia y la religión. Hay pocas dudas de que durante el siglo XIX éste fue el aspecto más discutido, como por ejemplo en libros famosos, con títulos explícitos como *History of the conflict between religion and science* (1875) de J.W. Draper, o aun *A history of the warfare of science with theology in christendom* (1895) de A.D. White. En nuestros días la religión se ha interesado menos en los "hechos", mientras que al mismo tiempo la ciencia se ha he-

cho mucho más modesta en la aseveración de su poder para explicar el mundo. Sin embargo muchos pensadores, algunos de los cuales hasta mantienen una relación nominal con la Iglesia, encuentran que ya no es posible creer que las ideas religiosas se han derivado sobrenaturalmente. Un punto de vista contemporáneo muy extendido es que fue el hombre quien creó el concepto de Dios, no Dios el que creó al hombre. La razón principal tras este cambio es indudablemente la influencia de la ciencia durante los últimos trescientos años.

En el centro del conflicto en su forma tradicional se ha encontrado el contraste entre la autoridad absoluta e inmutable de las doctrinas religiosas de revelación divina y la visión del mundo incesantemente cambiante derivada de la ciencia. Así, una de las más famosas confrontaciones, la de Galileo y la Iglesia católica, giraba en torno a las supuestas amenazas que los *nuevos* datos de observación significaban para los dogmas establecidos desde hacía mucho tiempo por la cosmología aristotélica y la narración bíblica. Más de doscientos años después de este episodio, fue la teoría de la evolución la que generó violentas controversias, y una vez más éstas se centraron en torno a la impugnación al relato tradicional del libro del Génesis sobre la creación de las especies, particularmente la creación del hombre, representada por la *nueva* evidencia de la geología y la historia natural.

El problema general que tales adelantos de la ciencia plantearon al punto de vista religioso fue que cada vez más causas *naturales* de efectos materiales llegaron a descubrirse, de manera que era cada vez menos necesario postular causas sobrenaturales o la intervención divina. Cuando se iniciaban "batallas", parecía haber una marcada tendencia a que fueran perdidas por la Iglesia, aunque incluso para tales efectos todavía inexplicados seguía habiendo el peligro de que nuevos descubrimientos científicos sirvieran únicamente para minar la autoridad de la religión cada vez más si, por así decirlo, Dios fuera arrastrado prematuramente a "tapar las grietas".

La respuesta a este problema apareció en diferentes formas. Algunos teólogos fundamentalistas simplemente se enterraron bajo una lápida impenetrable de literalismo bíblico; para ellos, cada palabra de la Biblia se tomaba con revelada directamente por un Dios personal, y cualquier cosa que la contradijera era, por lo tanto, falsa. En el otro extremo, los "modernistas" de finales del siglo XIX vieron en la evolución una fuerza cósmica impersonal que les parecía suficiente evidencia de una ley de "progreso" ordenada divinamente. Para estos pensadores progresistas, Dios y el hombre juntos se volvían parte de la Naturaleza, de modo que *ningún* nuevo conocimiento científico podía construirse como apoyo para su posición; la Biblia por lo tanto cesó de ser parte de cualquier controversia

de la ciencia. Esto no quiere decir, sin embargo, que la Biblia no tuviera importancia, ya que se convirtió, particularmente para los teólogos comunes, en la fuente no de un relato literalmente verdadero del mundo sino de la revelación de Dios en la persona de Cristo.

Esta noción de la verdad revelada por comunicación sobrenatural tuvo como consecuencia el aislamiento de la ciencia y la creencia religiosa, al definir sus métodos respectivos y sus temas como referidos a "mundos" totalmente diferentes. Esta estructura permite sutiles ideas sobre diferentes "niveles de verdad" y diferentes significados de la palabra "explicación", que son complementarios y no contradictorios. Mientras que la ciencia explica la existencia de diferentes formas orgánicas en términos de la teoría evolutiva y, últimamente, en términos del surgimiento de la vida a partir de la materia inanimada, no tiene nada que decir sobre la cuestión de la existencia *per se*. La existencia en sí concierne a la explicación religiosa. En forma similar, la explicación científica del origen de nuestro universo, en términos por ejemplo de la teoría de la *gran explosión*, admite la duda sobre la fuente y el estado de la materia o de la energía disponible para que, en primer lugar, pudiera explotar. Nuevamente sobre esta cuestión, la ciencia no tiene nada que decir.

En términos generales esta posición teológica —compartida tanto por pensadores protestantes como católicos, y favorecida como medio para minimizar el área sobre la que *pueden* debatir la ciencia y la religión— argumenta que todo el problema de la creación es, para la ciencia, algo que se trata únicamente en el nivel de las relaciones finitas y temporales entre causa y efecto. En cambio, para la religión, el problema de la creación es fundamentalmente el significado de la existencia, en particular el significado de las relaciones *actuales* entre Dios y el mundo. Las percepciones derivadas de la revelación se consideran impenetrables para los descubrimientos de la ciencia, porque se refieren a niveles completamente diferentes de causalidad, respectivamente causalidad primaria y secundaria.

Otros filósofos y teólogos también han deseado resolver cualquier conflicto entre ciencia y religión separando a ambas en dos distintas esferas de la experiencia. Por ejemplo, los existencialistas disocian una esfera de individualidad (subjetiva) en la que opera únicamente Dios, de una esfera de la naturaleza (objetiva) familiar para el científico. Por otra parte, los filósofos lingüistas reconocen la legitimidad tanto de la ciencia como de la religión, entendiéndolas sin embargo como *lenguajes* totalmente diferentes: el primero interesado en la predicción y el control de la naturaleza, el segundo como apoyo de una forma particular de vida.

En el último cuarto de siglo ha surgido algo así como una tendencia para volver a unir la religión y la ciencia. Tanto en términos de

método como de contenido, se ha argumentado que las dos tienen más en común de lo que generalmente se ha supuesto. La minoría de los teólogos que apoyó este reencuentro incluía a aquellos influidos por la revaloración del concepto de "verdad científica" de filósofos como Thomas Kuhn y Michael Polanyi, para quienes hay un compromiso mucho mayor por parte del científico individual de lo que hasta ahora se había reconocido (véase, por ejemplo, la sección sobre Thomas Kuhn en el capítulo 4). La naturaleza de base teórica de las observaciones científicas, el poderoso compromiso psicológico con los paradigmas, y la visión de que la ciencia consiste finalmente en *Conocimiento personal*, todo ha ayudado a erosionar la antiguamente rígida separación entre ciencia "objetiva" o "positiva" y creencia religiosa "subjetiva" o "normativa". En estos tiempos es poco probable que tome en serio la distinción simplista realizada por los racionalistas del siglo XIX entre la ciencia fáctica y la religión imaginativa ni siquiera el científico moderno más duro y ateo, suponiendo por supuesto que está *enterado* de estas recientes tendencias filosóficas. No obstante lo despreciativo que pueda ser hacia el estatus de la verdad revelada, se verá obligado a reconocer la naturaleza relativista del conocimiento científico, un conocimiento que no es ya descrito en términos de *hechos* infalibles, sino más bien en términos de observaciones y modelos falibles. A ninguno de estos modelos se le considera *la* consideración definitiva de la realidad, sino que todos son tratados nada más que como relatos parciales y aproximaciones temporales. En ninguna forma se trata de que la ciencia apoye a la religión, sino más bien de que la ciencia cese de aparecer en una posición que indique que la religión es falsa.

En este retroceso general de una interpretación positivista del conocimiento científico, algunos científicos y teólogos han encontrado un lugar para *creer* en los métodos de la ciencia, así como en los métodos de la religión. Entre las suposiciones implícitas de la ciencia se encuentran nociones como la inteligibilidad, uniformidad, orden y "simplicidad" de la naturaleza. La ciencia no procede mediante la acumulación de hechos, sino más bien por medio del compromiso creativo de la imaginación, la cual interpreta la experiencia empírica de acuerdo con ideales preconcebidos en forma semejante a como hace con la experiencia religiosa. Cuando a estos paralelos básicos se añaden similitudes de actitud encontradas tanto dentro de comunidades científicas como religiosas —actitudes como honestidad, cooperación y universalismo— es, según este punto de vista, perfectamente posible concebir una visión del mundo verdaderamente comprensible (pero quizá no una "objetiva") basada en una totalidad de experiencia derivada de ambas fuentes complementarias.

En lo que respecta a similitudes de tema, ha sido el enormemente fructífero tema de la evolución el que, quizá más que cualquier otra

teoría científica, ha impulsado una visión absolutamente amplia. El intento de una síntesis entre las ideas de las ciencias cosmológicas y evolutivas, por una parte, y las ideas de revelación y experiencia mística, por la otra, ha sido elaborado esencialmente sobre la base de los escritos del matemático y filósofo A.N. Whitehead y del paleontólogo jesuita Pierre Teilhard de Chardin (véase también la sección sobre "Las ideas de la biología" en el capítulo 5). De acuerdo con su visión, el mundo es un todo interactuante, todavía en un estado incompleto de realización. Existen varios niveles de realidad dentro de este todo, mientras que los procesos cósmicos de evolución "dirigen" la aparición de niveles sucesivamente más altos, de la materia a la vida, de la vida a la conciencia y del pensamiento consciente a la sociedad, pero sin rompimientos absolutos en el vasto continuo. Así el hombre es visto como parte integrante de la naturaleza, cuyos niveles únicos de organización le dan, sólo a él, acceso al *interior de las cosas* y por los cuales puede alcanzar alguna comprensión remota de la experiencia que puede haber en niveles más bajos. La idea de la evolución de una conciencia cada vez mayor reconoce la función del azar y la incertidumbre en la naturaleza, porque con una conciencia creciente se llega a una libertad cada vez mayor, en donde las formas más altas de ser tienen que reaccionar selectiva o involuntariamente a las muchas potencialidades que el mundo les presenta. El proceso de la creación es visto así como un continuo a través de esta novedad recurrente, y es por medio de una cada vez más profunda apreciación de los procesos evolutivos como puede entenderse mejor el Dios conocido a través de la experiencia religiosa.

Creencia en la existencia de Dios

En ausencia de una experiencia religiosa profundamente significativa —esto es, de algo interpretado por el individuo mismo como una revelación directa de Dios—, ¿puede la creencia en un *poder* sobrenatural ser todavía compatible con el conocimiento que posee el científico moderno? Este requisito inicial es importante, ya que la experiencia mística de la "presencia de Dios", de la *realidad última* o del "Uno", como ha sido relatada por todos los santos de las religiones del mundo y también por innumerables legos, parece ser sin duda un acontecimiento que puede producir un sentimiento de paz y finalidad, y que sin comparación con otros puede cambiar vidas. Simplemente porque si bien aquellos que no han tenido esas experiencias pueden muy legítimamente cuestionar su autenticidad (¿cómo, por ejemplo, pueden distinguirse inequívocamente experiencias aparentemente análogas que pueden inducirse con productos químicos

en los seres sanos, y las "voces" apremiantes que pensamos que es correcto eliminar con productos químicos en los insanos?), esto no influye en ninguna forma la convicción de los que la tienen. Ni el místico puede *probar* al escéptico que realmente ha experimentado a Dios, ni el escéptico puede probar al místico lo contrario. Para el místico mismo lo directo de su experiencia debe de haber trascendido el nivel de la mente racional; a diferencia de la demanda de la ciencia, su demanda de conocimiento será absoluta.

La mayoría de los científicos contemporáneos se sentirán probablemente más cercanos al escéptico que al gurú o al santo. Según esto desearán apoyarse más en sus facultades racionales que en cualquier proceso que pueda oler a "cumplimiento de un deseo" y se interesarán por los argumentos racionales sobre la existencia de Dios que no sean incompatibles con el conocimiento científico. Claro está que hay muchos candidatos posibles para tales argumentos, pero bastará que mencionemos brevemente los tres más famosos.

Quizás el más antiguo de todos es el comúnmente conocido como argumento cosmológico, que tocamos antes en relación con el concepto de la verdad revelada. En su forma aristotélica, la primera suposición es que todo efecto tiene una causa. Sobre esta base se argumenta entonces que el efecto que conocemos como universo debe por lo tanto tener una causa. Lo que tiene entonces que probarse es la *existencia* del universo o, en realidad, la existencia de todo. La explicación para la existencia del universo es que constituye el efecto de la Causa Primera. Ésta debe ser Dios o, como lo resume el argumento, puesto que el universo existe, Dios debe existir.

Otra forma de razonamiento, que proviene al menos de la época medieval, es la conocida como argumento ontológico. En él se intenta demostrar que un examen de la existencia de Dios debe conducir a la conclusión de que de hecho existe. El paso crítico aquí es definir a Dios como "algo más grande que todo lo que pueda concebirse". Sobre esta base se argumenta entonces que si algo existe fuera de la mente humana, además de ser un concepto de la mente debe ser algo más que tan sólo un concepto de la mente. Dios *debe* por consiguiente existir tanto fuera como dentro de la mente, ya que de otra manera no podría ser el concepto más grande de contemplación posible. Puesto que podemos concebir la existencia de Dios, se asegura, Dios debe existir.

El tercero de los casos clásicos, y con mucho el más popular, está representado por el argumento teológico, comúnmente conocido como el argumento de (o para) diseñar. Éste es también muy antiguo, aunque la controversia llegó al puesto máximo en los siglos XVIII y XIX. Se trata quizá más de una aseveración que de un argumento, pretendiendo en esencia que la extraordinaria complejidad y la forma organizada de las cosas del mundo, y especialmente de

las cosas vivas, pueden explicarse únicamente en razón del trabajo de un Diseñador inteligente. Este Diseñador debe ser Dios.

No es necesario decir que cada uno de estos argumentos tiene tanto sus defensores como sus críticos. En el nivel filosófico, Kant es considerado por muchos como el que echó por tierra el argumento cosmológico, mostrándolo como dependiente del argumento ontológico, al que también demostró como lógicamente nulo. Los detalles de la lógica de Kant y los posibles contraargumentos de ésta están fuera de nuestro interés actual. Para nuestros propósitos es suficiente decir que, para Kant, el rechazo del argumento ontológico se basaba en la distinción entre lo que existe en realidad (fuera de la mente) y lo que existe únicamente en el pensamiento. Su postura se parafrasea comúnmente con la expresión: "No se pueden definir cosas dentro de la existencia." El argumento consta, nos dice, de dos proposiciones independientes: la primera, que Dios es el concepto más alto posible de contemplación, y la segunda, que Dios debe existir. Pero la segunda no es una consecuencia lógica de la primera, porque la existencia no puede ser una propiedad de Dios en la forma en que la supremacía o la perfección pueden serlo. La existencia se presupone mediante la atribución de las otras propiedades, mientras que esta última es tomada como un hecho una vez que asumimos la existencia. De esta manera, mientras que *puede* ser falso decir que Dios no existe, es sin embargo concebible que así sea. Según Kant, el argumento ontológico no *prueba* la existencia de Dios.

En el plano científico parecería que es muy poco lo que podría decirse sobre el argumento ontológico en cualquier forma. El argumento cosmológico está casi en la misma posición (aunque puede tener interés para algunos hacer notar que la noción de causa y efecto parece ser de estatus incierto en el mundo de las partículas físicas). Pero generalmente la opinión propia sobre la plausibilidad del argumento —lo que uno entiende por la "creación" del universo— dependerá en su momento del significado que se le dé al concepto de "explicación" en este contexto.

Sobre el tercer argumento, el del designio, la evidencia científica puede parecer que tiene un impacto más inmediato, aunque los juicios sobre el significado de la evidencia han variado ampliamente. Muchos científicos han encontrado en sus observaciones de la naturaleza apoyo para su creencia en la preexistencia de Dios, mientras que otros, particularmente si han hecho hincapié en la devastación y el sufrimiento del mundo natural, se han confirmado en su ateísmo. En el siglo XVIII, la doctrina del *deísmo* estuvo cerca de remplazar el concepto cristiano ortodoxo de Dios como inmanente en la naturaleza, surgiendo como lo hizo de la crítica del argumento teleológico de Hume y de una sobresimplificación e interpretación errónea de la obra de Newton. Se argumentaba que mientras que

la evidencia del designio puede sostenerse en favor de la existencia de Dios, esa evidencia no daba razón para creer en el Dios Todopoderoso. Por consiguiente Dios era, por así decirlo, empujado al fondo como el Creador del universo, el Hacedor de su mecanismo de relojería, pero ya no se le consideraba comprometido activamente en su funcionamiento. En el siglo XIX el impacto de Darwin minó el argumento teleológico tradicional atribuyendo las características estructurales y funcionales de los organismos a un prolongado proceso de variación y de selección natural. Mientras tanto, la única defensa para muchos parecía ser una ruptura dentro del deísmo y esto —ya se ha argumentado— es lo que parece haber sucedido en la propia posición de Darwin.

Para aquellos que desean una respuesta clara a nuestra pregunta inicial (¿es posible para el científico moderno creer en Dios?), el problema con el deísmo es que en último análisis parece volver a caer en el argumento ontológico; Dios se vuelve no más que la *causa primera*. Pero el argumento cosmológico es en el mejor de los casos inestable, porque depende del argumento ontológico, el cual, si hemos de creer a Kant y a la mayoría de los filósofos ortodoxos desde su época, tiene que rechazarse como lógicamente falso. Por lo tanto parece que un impresionante peso de opinión indica que hay poca base *racional* para una creencia en Dios, y el científico que no ha experimentado una revelación personal no tendrá otra justificación para sostener esa creencia, que la fe.

Algunos actos de fe, sin embargo, no son exclusivos de aquellos dispuestos y felices para describirse a sí mismos como los "fieles". Como hemos dicho antes, todo científico trabaja con ideas preconcebidas limitadas que difícilmente pueden "racionalizarse"; vimos en el capítulo 1 que es necesario un *salto intuitivo* para formular un punto de vista científico del mundo; y en el capítulo 2 fue ampliamente tomado como un hecho que las reglas de la deducción nos permiten, realmente, deducir que la aseveración es válida. Pero aunque los actos fundamentales de fe de este tipo pueden ser un prerrequisito necesario para vivir en el mundo diario, la fe en Dios parece ser de un orden diferente. Todo lo que se precisa decir sobre la fe, en este nivel, es que mucha gente la experimenta, incluyendo a muchos científicos, como *la* más profunda motivación sin la que sus vidas estarían vacías de significado o de propósito. El hecho de que puede ser experimentada a pesar de, más que a causa de, argumentos meramente racionales como el de la existencia de Dios, parece únicamente añadir la convicción de que la fe opera en un reino completamente separado de la razón, un reino que, como el de la misma revelación, trasciende las facultades lógicas de la mente. La apremiante naturaleza de la fe tiende a ser entendida por el creyente en términos de *gracia divina* y para los más devotos esto puede

desterrar completamente el último vestigio de incertidumbre. Sin embargo, para el resto las creencias derivadas de la fe pueden parecer nada más que el cumplimiento de inseguridades psicológicas profundamente asentadas —a menudo inducidas por el miedo a la muerte o por un sentimiento de falta de propósito del mundo— y, para aquellos que están todavía indecisos en dar el último paso hacia la incredulidad abierta, la duda filosófica será la única postura que parece posible de sostener.

Cualquiera que sea la influencia de los argumentos racionales, parece que la inclinación humana hacia una fe "irracional" puede, en su nivel más profundo, hacer impotente el poder de persuasión de la evidencia científica. En el conocimiento total de la importancia de la ciencia todavía sigue siendo perfectamente legítimo mantener una postura teísta, ateísta o agnóstica, según las propias convicciones personales. Cualquiera que sea la interpretación psicológica que pueda uno atribuir a la postura de los demás, es al menos bueno recordar que los demás pueden igualmente atribuir significación a la posición tomada por uno mismo.

A continuación presentamos una lista de los libros y artículos más importantes que se consultaron. Los datos que se ofrecen se refieren a los volúmenes que se emplearon y por lo tanto no son los que aparecen en el texto (usualmente los de las primeras ediciones). Exceptuando unos cuantos casos, la duplicación se ha evitado citando sólo una referencia con relación al primer capítulo en el que se menciona.

INTRODUCCIÓN

Hudson, L., *Contrary imaginations*, Londres, Methuen, 1966.
_____, *Report of the Committee on Higher Education Appointed by the Prime Minister* ("Robbins Report"), *Cmnd 2154* 1963.
Snow, C.P., *The two cultures and a second look*, Nueva York, Mentor, 1964.

CAPÍTULO 1. LA ESTRUCTURA DE LA CIENCIA

Campbell, N., *What is science?*, Nueva York, Dover, 1953.
Russell, B., *The problems of philosophy*, Oxford, University Press, 1964.
Ziman, J., *Reliable knowledge*, Cambridge, University Press, 1978.

CAPÍTULO 2. EL ARGUMENTO CIENTÍFICO: EL PAPEL DE LA LÓGICA

Bradbury, F.R. (comp.), *Words and numbers*, Edimburgo, University Press, 1969.
Cohen, M.R. y Nagel, E., *An introduction to logic*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1963.
Pauling, L., *Vitamin C and the common cold*, Londres, Ballantine, 1972.
Salmon, W. C., *Logic*, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice-Hall, 1973.

CAPÍTULO 3. LA ACTITUD CIENTÍFICA: LA CIENCIA EN LA PRÁCTICA

Durkheim, E., *Suicide: a study in sociology* (1897), Londres, Routledge & Kegan Paul, 1952.
Hales, S., *Vegetable staticks* (1727), Londres, MacDonald, 1969.
Harvey, W., *The circulation of the blood*, Londres, Dent/Everyman, 1963.

Wells, W., *An essay on dew and several appearances connected with it*, Londres, Taylor & Hessey, 1814.

CAPÍTULO 4. FILOSOFÍAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO: TEORÍAS DE LA CIENCIA

Burniston Brown, G., *Science: its method and its philosophy*, Londres, Allen and Unwin, 1950.
Chalmers, A.F., *What is this thing called science?*, Milton Keynes, Open University, 1978.
Feyerabend, P.K., *Against method: outline of an anarchistic theory of knowledge*, Londres, New Left Books, 1975.
Grazia, A. de (comp.), *The Velikovsky Affair*, Londres, Sidgwick & Jackson, 1966.
Harré, R., *The philosophies of science*, Oxford, University Press, 1978.
Hempel, C.G., *Philosophy of natural science*, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice-Hall, 1966.
Kuhn, T.S., *The structure of scientific revolutions*, Chicago, University Press, 1970.
Lakatos, I. y Musgrave, A. (comps.), *Criticism and the growth of knowledge*, Cambridge, University Press, 1970.
Losee, J., *A historical introduction to the philosophy of science*, Oxford, University Press, 1977.
Magee, B., *Popper*, Londres, Fontana, 1973.
Medawar, P.B., *Induction and intuition in scientific thought*, Londres, Methuen, 1969.
Medawar, P.B., *The art of the soluble*, Londres, Methuen, 1967.
Mill, J.S., *System of logic*, Londres, Longmans, 1891.
Popper, K.R., *The logic of scientific discovery*, Londres, Hutchinson, 1977.
———, *Conjectures and refutations*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1972.
———, *Objective knowledge*, Oxford, University Press, 1973.
Velikovsky, I., *Worlds in collision*, Londres, Abacus, 1978.
Whewell, W., *The philosophy of the inductive sciences*, vol. II, Londres, Parker, 1840.

CAPÍTULO 5. LA NATURALEZA DE LA CIENCIA: CIENCIAS FÍSICA, BIOLÓGICA Y SOCIAL

Capra, F., *The Tao of physics*, Londres, Fontana, 1979.
Eddington, A., *The nature of the physical world*, Cambridge, University Press, 1929.
Forman, P., "Weimar culture, causality and quantum theory", en *Historical Studies in the Physical Sciences 3*, 1971, pp. 1-115.
Harré, R. (comp.), *Scientific thought, 1900-1960*, Oxford, University Press, 1969.
Heisenberg, W., *The physicist's conception of nature*, Londres, Hutchinson, 1958.

Hull, D., *Philosophy of biological science*, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice-Hall, 1974.
Nagel, E., *The structure of science*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1979.
Rudner, R.S., *Philosophy of social science*, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice-Hall, 1966.
Talbot, M., *Mysticism and the new physics*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1981.
Teilhard de Chardin, P., *The phenomenon of man*, Londres, Collins, 1965.
Waddington, C.H., *The scientific attitude*, Londres, Penguin, 1948.
Whitehead, A.N., *Science and the modern world*, Cambridge, University Press, 1933.
Winch, P., *The idea of a social science and its relations to philosophy*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1977.

CAPÍTULO 6. ESTUDIOS SOCIALES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Barnes, B. (comp.), *Sociology of science*, Londres, Penguin, 1972.
Ben-David, J., "Scientific entrepreneurship and utilization of research", en Barnes, B., *Sociology of science*, cit., pp. 181-187.
Bernal, J.D., *The social function of science*, Londres, Routledge, 1944.
Blackett, P.M.S., "Memorandum to the Select Committee on Science and Technology", en *Nature*, núm. 219, 1968, pp. 1107-1110.
Blume, S.S. (comp.), *Perspectives in the sociology of science*, Chichester, Wiley, 1977.
Braun, E., Collingridge, D. y Hinton, K., *Assessment of technological decisions—Case studies*, Londres, Butterworths, 1979.
Cardwell, D.S.L., *Technology, science and history*, Londres, Heinemann, 1972.
Carter, C.F. y Williams, B.R., *Industry and technical progress*, Oxford, University Press, 1957.
Central Advisory Committee for Science and Technology. Technological Innovation in Britain, Londres, Her Majesty's Stationery Office, 1968.
Crane, D., *Invisible colleges: diffusion of knowledge in scientific communities*, Chicago, University Press, 1972.
Cotsgrove, S.F. y Box, S., *Science, industry and society*, Londres, Allen & Unwin, 1970.
Ellis, N.D., "The occupation of science", en *Technology and Society*, núm. 5, 1969, pp. 33-41; Publicado también en Barnes, B., *Sociology of science*, cit., pp. 188-205.
Freeman, C., *The economics of industrial innovation*, Londres, Penguin, 1974.
Galbraith, J.K., *The new industrial state*, Londres, Penguin, 1966.
Goldsmith, M. y Mackay, A., *The Science of Science*, Londres, Penguin, 1966.
Green, K. y Morphet, C., *Research and technology as economic activities*, Londres, Butterworths, 1977.
Greenberg, D.S., *The politics of American science*, Londres, Penguin, 1969.

Hagstrom, W.O., *The scientific community*, Nueva York, Basic Books, 1965.
Hobsbawm, E.J., *Industry and empire*, Londres, Penguin, 1969.
Hollomon, J.H., en Trybout R.A. (comp.), *Economics of research and development*, Columbus, Ohio, University Press, 1965, p. 253.
Johnson, P.S., *The economics of invention and innovation*, Londres, Robertson, 1975.
Langrish, J., Gibbons, M., Evans, W.G. y Jevons, F.R., *Wealth from knowledge*, Londres, Macmillan, 1972.
Latour, B. y Woolgar, S., *Laboratory life*, Beverly Hills, Sage Publications, 1979.
Merton, R.K., *Science, technology and society in Seventeenth Century England*, Nueva York, Howard Fertig, 1970.
_____, "The institutional imperatives of science", en Barnes, B., *Sociology of science*, cit., pp. 65-79.
Mulkay, M.J., *The social process of innovation*, Londres, Macmillan, 1972.
_____, "Cultural Growth in Science", en Barnes B., *Sociology of science*, pp. 126-141.
_____, *Science and the sociology of knowledge*, Londres, Allen & Unwin, 1979.
Pevitt, K. y Warboys, M., *Science, technology and the modern industrial state*, Londres, Butterworths, 1977.
Price, D. de Solla, *Little science, big science*, Nueva York, Columbia, 1963.
_____, "Science and technology: distinctions and interrelationships", en Barnes, B., *Sociology of science*, cit., pp. 166-180.
Rose H. y Rose, S., *Science and society*, Londres, Penguin, 1960.
Shapin, S., "History of science and its sociological reconstructions", en *History of Science*, núm. 20, 1982, pp. 157-211.
Spiegel-Rosing, I. y Price, D. de Solla, *Science, technology and society*, Londres, Sage, 1977.
Williams, B.R., *Technology, investment and growth*, Londres, Chapman & Hall, 1967.
Williams, B.R. (comp.), *Science and technology in economic growth*, Londres, Macmillan, 1973.

CAPÍTULO 7. DIMENSIONES ÉTICAS DE LA CIENCIA

Ashby, E., *Reconciling man with the environment*, Londres, Oxford University Press, 1978.
Bernal, J.D., *The social function of science*, Londres, Routledge, 1944.
Black, M., "Is scientific neutrality a myth?", en Lipscombe, J. y Williams, B., *Are science and technology neutral?*, pp. 40-53.
Braun E. y Collingridge, D., *Technology and survival*, Londres, Butterworths, 1977.
Bunyard, P. y Morgan-Grenville, G., *Nuclear power*, Godalming, Surrey, Ecoropa, 1980.
Cameron, I. y Edge, D., *Scientific images and their social uses*, Londres, Butterworths, 1979.

Corson, B.B. y Stoughton, R.W., "Reactions to alpha, beta-unsatured dinitriles", en *Journal of the American Chemical Society*, núm. 50(2), 1928, pp. 2825-2837.
Diener, E. y Crandall, R., *Ethics in social and behavioural research*, Chicago, University Press, 1978.
Fieser, L.F., *The scientific method*, Nueva York, Reinhold, 1964.
Flew, A.G.N., *Evolutionary ethics*, Londres, Macmillan, 1967.
Gowing, M. y Arnold, L., *The atom bomb*, Londres, Butterworths, 1979.
Humphreys, L., *Tearoom trade*, Chicago, Aldine, 1975.
Huxley, T.H. y Huxley, J.S., *Evolution and ethics*, Londres, Pilot, 1947.
Illich, I., *Medical nemesis: the expropriation of health*, Londres, Marian Boyars, 1976.
Kahn, H. y Weiner, A., *The year 2000—A framework for the next thirty-five years*, Nueva York, Macmillan, 1967.
Lewis, L.C. (comp.), *Report from Iron Mountain on the Possibility and Desirability of Peace*, Londres, Penguin, 1968.
Lipscombe, J. y Williams, B., *Are science and technology neutral?*, Londres, Butterworths, 1979.
May, W.F., "Code, covenant, contract or philanthropy", en *Hastings Center Report*, núm. 5 (6), Nueva York, 1975, pp. 29-38.
Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. y Behrens, W.W., *The limits to growth*, Londres, Pan, 1974.
Milgram, S., *Obedience to authority*, Londres, Tavistock, 1974.
Monod, J., *Chance and necessity: an essay on the natural philosophy of modern biology*, Londres, Collins, 1972.
Polanyi, M., *The logic of liberty*, Chicago, University Press, 1958.
_____, "The republic of science", en *Minerva*, núm. 1, 1962, pp. 54-73.
Rapoport, A., "A scientific approach to ethics", en *Science*, núm. 125, 1957, pp. 796-799.
Ravetz, J.R., *Scientific knowledge and its social problems*, Oxford, University Press, 1971.
Regan, T. y Singer, P. (comps.), *Animal rights and human obligations*, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice-Hall, 1976.
Rose S. y Rose, H., "Can science be neutral?", en *Perspectives in Biology and Medicine*, verano de 1973, pp. 605-624.
Schurr, G., *Science and ethics*, University of Manchester, Science in a Social Context Trial Unit, 1977.
Smyth, D.H., *Alternatives to animal experiments*, Londres, Scolar Press, 1978.
Waddington, C.H., *The ethical animal*, Londres, Allen & Unwin, 1960.
Ward, B. y Dubos, R., *Only one Earth*, Londres, Penguin, 1976.
Weingberg, A.M., "Criteria for scientific choice", en *Minerva*, núm. 1, 1963, pp. 159-171.

CAPÍTULO 8. CIENCIA, CULTURA Y RELIGIÓN

Ashby, E., "Universities today and tomorrow", en *Listener*, núm. 65, 1961, pp. 959-960.

Barbour, I.G. (comp.), *Science and religion: new perspectives on the dialogue*, Londres, SCM, 1968.

Cole, J.R., *Fair science: women in the scientific community*, Nueva York, Free Press, 1979.

Goodman, D.C. (comp.), *Science and religious belief: a selection of primary sources*, Bristol, Wright, 1973.

Hessen, B., "The social and economic roots of Newton's *Principia*", en N. Bujarin (comp.), *Science at the crossroads*, Londres, Cass, 1971, pp. 146-212.

Hooykas, R., *Religion and the rise of modern science*, Edimburgo, Scottish Academic Press, 1972.

Huxley, A., *Brave New World*, Londres, Chatto & Windus, 1932.

Isaacs, A., *The survival of God in the scientific age*, Londres, Penguin, 1966.

Kearney, H.F., *Science and change, 1500-1700*, Londres, World University Library, 1971.

Leavis, F.R., *Two cultures? The significance of C.P. Snow*, Londres, Chatto & Windus, 1962.

Marcuse, H., *One-dimensional man*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1964.

Orwell, G., *Nineteen Eighty-Four*, Londres, Secker & Warburg, 1940.

Polanyi, M., *Personal knowledge*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 1958.

Ravetz, J.R., "Criticisms of science", en Spiegel-Rosing, I. y Price, D. de Solla (comps.), *Science, technology and society*, cit. Londres, Sage, 1977, pp. 71-89.

Rose, H. y Rose, S., *The political economy of science*, Londres, Macmillan, 1976.

_____, *The radicalisation of science*, Londres, Macmillan, 1976.

Roszak, T., *The making of a counter-culture*, Londres, Faber, 1970.

Russell, C.A. (comp.), *Science and religious belief: a selection of recent historical studies*, Londres, University Press, 1973.

Skolimowski, H., *Eco-philosophy*, Londres, Boyars, 1981.

Snow, C.P., *The two cultures and a second look*, Nueva York, Mentor, 1964.

Steneck, N.H. (comp.), *Science and society: past, present and future*, Ann Arbor, Michigan, 1975.

Teilhard de Chardin, P., *Man's place in nature*, Londres, Collins, 1966.

Toulmin, S., "The historical background of the anti-science movement", en Wolstenholme, G.E.W. y O'Connor, M. (comps.), *Civilisation and science in conflict or collaboration?*, Ciba Foundation Symposium, Amsterdam, Elsevier, 1972.

Whitehead, A.N., *The concept of nature*, Cambridge, University Press, 1926.

Zuckerman, H. y Cole, J.R., "Women in American science", en *Minerva*, núm. 13, 1975, pp. 82-102.

accidentes nucleares: 181-183
actitud científica: 40-56, 202
"afirmar el antecedente": 29
"afirmar el consecuente": 29, 47
África: 177
Against method: 84
agricultura: 131, 153, 176
agua, propiedades del: 20
Alegoría de la caverna: 91
Alemania: 115, 128, 137-139, 152-157, 193-194, 205, 212
alquimistas: 140, 205
Alternatives to animal experiments: 185
América Latina: 177
analogía: 33
anarquismo (en el conocimiento): 84-85
animales, experimentos con: 175, 184-187
anomalía: 78, 82-83
anticiencia, la: 209-210
antropología: 41-42, 145, 206
apariencia y realidad: 17-18, 21-22, 91-92
argumento, científico: 24-39
  de autoridad: 33
  de diseño: 221-222
  hipotético: 28-30
Aristóteles: 24, 43, 47, 53, 57-58, 60, 72-73, 85, 96, 203, 221
Arquímedes: 191, 203
Arrhenius, ley de: 20
arte: 13, 205, 207-208
art of the soluble, The: 76
Ashby, Eric: 207, 228-229
Asia: 177
astrología: 86
astronomía: 75-76, 78, 103, 127, 201
ateísmo: 219, 222, 224
Atenas: 58
Átomo, atómico: 22, 76, 82, 90, 92, 99-100, 140
autoridad: 46, 50, 58, 85, 160, 189-190, 216-217
avance científico: 43, 70, 77, 81-82, 115, 127, 184
avance del conocimiento: 60

Bacon, Francis: 59-61, 65, 136, 164, 166, 169, 172, 204, 213
Ben-David, Joseph: 148, 227
Bentham, Jeremy: 204
Bernal, Desmond: 165, 212, 227
biología: 41-42, 56, 75-76, 88, 93-96, 98, 100, 102-103, 106, 127, 168, 196, 201
bioquímica: 101
Black, Max: 175, 228
Blackett, P.M.S.: 147, 227
blancos: 198-199
bomba atómica: 173, 194-195
bomba de hidrógeno: 194-196
botánica: 20, 104, 131, 146
Boyle, Robert: 21, 70-71, 75, 204
Bronowski, Jacob: 161
budismo: 216

cálculo proposicional, el: 25
Cambridge: 47, 65
cánones de inducción: 61
capitalismo, capitalista: 149, 150, 199, 211-214
Causa Primera: 221, 223
causa y efecto, relación causal: 20, 33-35, 48, 51, 60-61, 88-91, 103, 121, 139, 154, 218, 221-222
Cayley, Arthur: 118
ciencia, aplicada: 129-157
  crecimiento de la: 116
  definición de: 40, 149, 209-210
  de la ciencia: 111
  dimensiones éticas de la: 158-196
  empírica y no-empírica: 41
  física y biológica: 87, 93, 103-104

historia de la: 13-14, 44-56, 74, 77, 81, 85, 114, 125, 130, 134
jerarquía de la: 88, 201
normal: 76-77, 126, 164
prestigio de la: 17, 160, 172, 201, 209
pura: 120-129, 147, 166
social: 102-107, 168, 178, 207
y guerra: 150-152, 176, 191-196
y tecnología: 129-148, 211-212
científicos y tecnólogos: 141-144, 148, 209-216
cientismo: 160-163, 168, 171-173, 202
Círculo de Viena: 66, 75, 204
Cleopatra: 26-27
crecimiento exponencial: 111-118, 128
crisis, periodos de: 78-79, 116, 118
cristianismo: 204, 216-220
criterios de elección científica: 165-168
crítica de la ciencia: 128, 164, 197, 202-215
cualidad, calidad: 12, 118-119, 204, 207, 216
cuantificación: 41, 47, 111-118, 203-204
cultura: 199-200, 205-209
Curie, Marie: 158-159
curva logística, la: 116-118
códigos éticos: 188
coeficiente de inmediación: 113
Cole, Jonathan: 200, 230
colegios invisibles: 119-120, 130
Coleridge, Samuel Taylor: 205
combustibles, crisis de: 177-178, 180
comprobación: 21, 42-44
Comte, Auguste: 204
comunismo (en ciencia): 105, 122, 127
conciencia: 100, 220
Concorde: 135
condiciones necesaria y suficiente: 37, 38
Condorcet, marqués de: 204
conductismo: 100-101
Conferencia Pugwash: 196
confirmación (de hipótesis): 72-73, 87
Conjectures and refutations: 66
conocimiento, objetivo: 19, 41-42, 62-63, 91-92, 161
sociología del: 121
subjetivo: 18, 91, 98, 100, 105
superior: 208
Conocimiento personal: 219
contaminación: 177-180, 214
contracultura: 199, 209-210
contraejemplo, método del: 28-29, 37-38
Contrary imaginations: 12
control social: 124-125, 145, 200-201, 212-213
Copérnico, Nicolás: 78, 85, 205
corrupción: 215
cosmología, cosmológico: 127, 220-222
costos y beneficios: 152-157

Chadwick, James: 140
Chance and necessity: 161
China: 150

d'Alembert, Jean Le Rond: 204
Dalton, teoría atómica de: 22
Darwin, Charles: 23, 43, 139, 223
darwinismo social: 162
datos insuficientes: 33, 60
Davy, Humphry: 138
DDT: 177
degradación: 187-191
deísmo: 222-223
De Magnete: 136
demarcación, criterio de: 67-68, 77, 87
derechos animales: 186-187
derechos humanos: 186-187
desarrollo biológico: 93-94
Descartes, René: 98, 160, 164-165, 172, 174, 184, 204
descubrimiento: 40, 43, 68, 84, 87, 123
desencanto, raíces de: 202-205
desinterés: 123
desviación (científica): 124-125
determinismo: 99, 102
dicotomía Norte-Sur: 176, 199
Dios: 217-224
discriminación: 198-202
disputas de prioridad (del descubrimiento): 122, 125

DNA: 173
documentos científicos: 118-120, 124, 129
dos culturas, las: 13, 205-208
Draper, J.W.: 216
Durkheim, Émile: 53-56, 225

ecología: 103, 158, 162-163, 176
economía, económico: 41, 104, 121, 131, 135, 152-157, 178, 183, 203, 212
Eddington, Arthur: 92, 226
Edison, Tomás Alva: 138
educación: 8, 12-13, 86, 120, 128, 146, 207
egipcios: 24
Einstein, Albert: 81, 89, 134-135, 173
elección científica, criterios de: 165-168
electricidad: 138-139
élite científica: 118-120, 198, 211
Ellis, N.D: 141-144, 146, 227
emergencia: 97-102
empirismo: 20-21, 41-42, 204, 215
"empuje-hacia-el-descubrimiento" (modelo de innovación tecnológica): 147
energía nuclear: 140-141, 180-184
Engels, Friedrich: 204, 213
ensayo y error: 66
enumeración, inducción por: 32, 51
escepticismo organizado: 123, 127
especialidades científicas: 125, 127-128
Essay on dew: 51
estadística: 32-34, 42, 144
estado del ser: 216
estado "preferido": 95-97
estado y ciencia: 123-124, 149-151, 194
Estados Unidos de América: 137-138, 150-156, 171, 193-195, 201-202, 212
estratificación: 198-199
ethos de la ciencia: 122-125, 127, 141-142, 144, 164, 168, 171, 197, 211, 213
ética: 94, 123, 158-196, 207
etología: 103, 186
evidencia (cualitativa y cuantitativa): 31, 33, 35, 41, 105
evolución, teoría de la evolución: 23, 74, 93, 162-163, 187, 217-220
existencia: 218, 220-223
existencialismo: 218
experimento: 42, 48, 52-53, 58-59, 65, 103, 121

Fair science: 200
falacia de la causa común: 34, 37
falacia naturalista: 162
falsabilidad: 66-74, 77, 82-83
Faraday, Michael: 134, 138
farmacéutica: 135
fe: 223-224
feminismo: 199-202
Fermi, Enrico: 140
Feyerabend, Paul: 84-85, 226
Fieser, L.F.: 174, 229
"fijación tecnológica": 177
filogenia: 93
filosofía, de la ciencia: 14, 57-107, 158-165
  moral: 158-159
  natural: 51, 158, 161
  naturalista: 205
física: 20, 41-42, 56, 73-77, 87-94, 96, 98, 100, 102-104, 115, 119, 132, 139-140, 146, 168, 192, 201, 204
fisiología: 44-50, 95-97, 104-105, 185, 187, 199
Fleming, Alexander: 135
Forman, Paul: 91, 226
Francia: 128, 146, 153, 155-156, 204
Freeman, Christopher: 149, 227
Freud, Sigmund: 69
fuerza: 73, 90, 94
fuerzas sociales: 54-56
funcionalismo: 121-122, 128
futurología: 178

Galbraith, J. Kenneth: 149, 169, 227
Galeno: 45-47
Galileo: 44, 85, 92, 136, 192, 217
gases asfixiantes: 192-193
Gay-Lussac, Joseph Louis, ley de: 22
generalización: 31-32, 34-35, 58-59, 62, 64-65, 104
genética: 74, 87, 101-102, 163, 168

geología: 20, 87, 103, 115, 127, 217
Gilbert, William: 136
gobierno: 150-157, 172-173, 194-195
Gödel, Kurt: 91
Goethe, Johann Wolfgang von: 205
gran ciencia, la: 117-119, 129, 168, 196
gran explosión, teoría de la: 218
gravedad: 56, 82, 89
Greenberg, Daniel: 194, 227
griegos: 24, 43, 58-60, 158, 203

Hagstrom, W.O.: 124-126, 129, 228
Haldane, J.B.S.: 100
Hales, Stephen: 47-50, 225
Harvey, William: 44-47, 50, 62, 73-74, 225
hechos: 24, 33, 37, 59, 65, 85, 106, 145, 159, 204, 207, 215-216, 219
Heisenberg, Werner: 90-92, 226
Hessen, Boris: 211-212, 230
heurística (negativa y positiva): 81-82
hipótesis: 21, 42, 46-48, 51-55, 60, 65-67, 70-74, 81-82
hipótesis *ad hoc*: 72
historia, teoría de la (de Marx): 69
history and philosophy of the inductive sciences, The: 65
History of the conflict between religion and science: 216
history of the warfare of science with theology in christendom, A: 216
Hobbes, Thomas: 204
Hobsbawm, Eric: 136, 228
Holanda: 156
Hollomon, J.H.: 147, 228
homeostasis: 95
Hudson, Liam: 12, 225
Hugo, Víctor: 77
humanismo: 206-207, 210, 212
Hume, David: 35, 65, 159, 174, 204, 222
Humphreys, Laud: 188-189, 229
Huxley, Aldous: 209, 230
Huxley, Julian: 162, 229
Huxley, Thomas Henry: 163, 229

ideas, la fecundación cruzada de: 128, 168
descubrimiento y justificación de: 43
de la biología, las: 93-102, 220
ideología: 85-86, 126, 197, 199, 202, 212-213
Iglesia: 85, 123, 214, 216-217
Ilustración, la: 204
Illich, Ivan: 184, 229
índice de citas científicas: 119
inducción: 31-35, 57-65, 67, 74, 88
industria: 129-157
y científicos: 141-145
Informe Robbins: 12, 225
ingeniería: 131-132, 139, 214
innovación: 126-129, 139, 146-148, 156
instituciones científicas: 131
intuición: 17-18, 79, 84, 105, 159
irracionalidad: 43, 81, 84
invención: 123
investigación (básica y aplicada): 132-135
y desarrollo: 132-134, 138-139, 148-157, 212
programas de: 81

Japón: 152-157, 194-195
justificación, proceso de: 43, 68, 84, 87

Kant, Immanuel: 66, 159, 184, 188, 205, 222-223
Kepler, Johann: 205
Kuhn, Thomas: 75-81, 83-84, 126-129, 144, 164, 219, 226

laboratorios: 131, 136, 139
Laboratory life: 145
Lakatos, Imre: 81-85, 226
Langrish, J.: 147, 228
Latour, Bruno: 145, 228
Lavoisier, Antoine: 43
Leavis, F.R.: 208, 230
Leibniz, Gottfried Wilhelm: 205
lenguaje: 35-36, 218
leyes científicas: 19-21, 35, 62, 76
Liebig, Justus von: 138
limits to growth, The: 178
literatura (científica y técnica): 129-130, 200

Locke, John: 204
logic of liberty, The: 165
lógica: 24-39, 84
y significado: 35-39, 67
deductiva: 25-31, 62, 67, 88, 91, 223
inductiva: 31-35, 58-65, 67, 74-75, 88, 223

"lluvia ácida": 177

madurez científica: 77-78
magia, la: 86
making of a counter-culture, The: 209
Malpighi, Marcello: 46, 73
Marcuse Herbert: 213, 230
Marx, Karl, marxistas: 69, 72, 111, 121, 204, 210-214
masa (física): 89-90
matemáticas: 41, 67, 69, 91, 93, 104
materialismo: 99, 146, 203-204
Maxwell, James Clerk: 22
May, William: 171, 229
Meadows, Dennis: 178-179, 229
measurement of scientific and technical activities, The: 132
mecanicismo: 89, 203-204
Medawar, Peter: 76, 226
Medical nemesis: 184
medicamentos: 32-34
medicina: 44, 104, 131, 134, 168, 171, 176, 184, 214
medición (científica): 41, 48, 111-120
Mendel, Gregor: 74, 76, 101
Mendeleev, Dmitri Ivanovich: 140
mente-cerebro: 100-102
meritocracia: 198, 201
Merton, Robert: 121-126, 129, 141, 159-160, 211-212, 228
oposición a: 129, 144-146
metafísica: 56, 67, 77, 79
meteorología: 104
method scientific, The: 174
método, metodología: 42, 103
microbiología: 132
Milgram, Stanley: 189-191, 229
militar-industrial, complejo: 135, 150-152, 176, 212
1984: 209
Mill, John Stuart: 61-62, 65, 204, 226
misticismo: 86, 203-204, 209, 220
modelos: 22, 63, 76, 219
Monod, Jacques: 161-162, 229
Moore, G.E.: 162
moral: 105, 122, 163, 208
Morgan, C. Lloyd: 99
Mulkay, M.J.: 126-128, 148, 228
mundo exterior: 17-19, 22
Musschenbroek, Pieter van: 51-52

nacionalismo: 122, 135
e internacionalismo: 167, 169-171, 194-196
naturaleza-educación, problema: 102
negar al consecuente (argumento): 30, 46
negar el antecedente (argumento): 30
negros: 198-199, 201
neoplatonismo: 203-205
Neptuno: 72-73, 83
neutralidad, fundamentos lógicos de la: 174-176
de la ciencia: 170, 172-174
new industrial state, The: 149
Newton, Isaac: 47, 71-73, 76-77, 81-83, 89, 123, 204, 211, 222
no-ciencia (o seudociencia): 68-69, 77, 85
norteamericano: *véase* Estados Unidos de América
Novum Organum: 59, 164
"núcleo duro": 81-83
Obedience to authority: 189
objetividad: 11, 19, 41-42, 62-64, 84, 90, 104, 158, 161-162, 211
observación: 41-42, 45-53, 58-67, 70, 81-83, 99, 145, 223
guiada por teorías: 70, 73, 75, 219
Ohm, Georg Simon, ley de: 20
On the motion of the heart and the blood: 46
One dimensional man: 213
ontogenia: 93
ontología: 221-222
Oppenheimer, J.Robert: 170, 195-196
óptica: 77
organización: 94-102, 220
origen de las especies, El: 75, 162
Orwell, George: 209, 230

ozono, capa de: 177
paradigmas: 75-81, 126-127, 145, 164, 173, 219
"paradoja del mentiroso": 36
Parménides: 95
partículas elementales: 22, 90-92, 94, 140
Pascal, Blaise: 10, 72, 205
Pauling, Linus: 34, 225
Penicillium: 135
percepción sensorial: 18-19
Perkins, William: 137
Philosophical transactions of the Royal Society: 113
placebos: 32
Planck, Max: 79
Platón: 43, 91
Polanyi, Michael: 161, 165-166, 208, 219, 229-230
política: 172, 210, 212
Popper, Karl: 66-72, 75, 77, 79, 83, 87, 226
positivismo lógico: 66-67, 204
post hoc, ergo propter hoc (falacia): 34
predicción: 40, 104
Premio Nobel: 34, 124
premisas: 25-32, 38, 42, 47, 57, 63, 67, 70
premisas positivas: 174-175
Price, Derek de Solla: 111-118, 228
probabilidad: 31, 38, 42, 64, 90-91, 104-105
progreso: 43, 93-94, 138, 162-163, 203-204, 217
  científico: 43, 70, 77, 81, 115-116, 138, 169, 202
propaganda: 84-85
propiedades (cualitativa y cuantitativa): 41
protestantismo: 121, 211
Prout, William: 82
Proyecto Manhattan: 194-195
psicoanálisis: 69, 83, 100
psicología: 38-39, 41, 54, 84, 87-88, 100-101, 104, 185-189, 199, 201, 224
Ptolomeo: 78
publicaciones (científicas y técnicas): 113-115, 124, 129-131

química: 20, 41, 76, 88, 98, 100, 102, 104-105, 131, 138, 192-193, 196, 201

racionalidad: 17, 24, 43, 84, 160, 211, 213, 221, 223-224
radar: 193
Rapoport, Anatole: 161, 229
Ravetz, J.R.: 214-215, 229-230
raza: 198-199
reactor rápido autogenerador: 181
reconocimiento: 124-125, 200
recursos naturales: 176-180
reduccionismo: 88, 97-102
reductio ad absurdum: 30
reglas del método sociológico, Las: 53-54
relatividad: 90, 99, 104
religión: 115, 121, 172, 197, 204, 211, 215-224
Report from Iron Mountain: 192
"República de la Ciencia": 165
responsabilidad: 214-215
retroalimentación (positiva y negativa): 95-97, 115
revolución, científica: 203-205, 207
  copernicana: 74
  industrial: 135-138
romanticismo: 205, 208
rompecabezas (armar): 14, 76, 81, 164
Rose, Hilary and Steven: 173, 213, 228-230
Roszak, Theodore: 209-210, 230
Rousseau, Jean Jacques: 205
Royal Society of London: 136
Russell, Bertrand: 170, 225

sabiduría: 12, 210, 216
Salk Institute for Biological Studies: 145
sangre, circulación de la: 44-47, 73
saturación: 116-117, 128
Savary, Thomas: 136
Science, technology and society in Seventeenth Century England: 121
seudociencia: 68-69

sexo y ciencia: 198-202
Shakespeare, William: 43
Shapin, Steven: 144-146, 228
silogismos: 25-31, 62-63
simplicidad, importancia de la: 18, 42, 52, 103
principio de: 71
Skolimowski, Henryk: 216, 230
Smith, Adam: 165
Smyth, D.H.: 185, 229
Snow, C.P.: 13, 206-208, 225, 230
social function of science, The: 165, 212
sociedad, influencia de la: 104, 120-121, 130, 145, 159-160, 197, 199-202
sociedades científicas: 124-125, 131
sociobiología: 102
sociología: 41, 53-56, 77, 83-84, 87-88, 102, 121, 129, 144, 188-189, 200-201, 210-211
Sócrates: 25-27, 35
Spencer, Herbert: 162
Spinoza, Baruch: 205
Steiner, Rudolph: 205
structure of scientific revolutions, The: 75, 126
suicidio, El: 53
Swann, Joseph: 138

talidomida: 33
tautología: 67, 69
Tearoom trade: 188
técnicas científicas: 42, 47-50, 103
tecnocracia: 209
tecnología: 129-157
definición de: 130, 132-133
historia de la: 130-132, 135-138
imperativos de la: 149-152, 169, 181
y ciencia: 129-144, 146-148, 169
Technological innovation in Britain: 148
Teilhard de Chardin, Pierre: 100, 220, 227, 230
teleología: 88, 95-97, 221-223
televisión, violencia en la: 34, 37-38
Teller, Edward: 196
teología: 67, 203, 216-220
teorema de la incompletitud: 91
teorías científicas: 19-23, 35, 64, 76, 82-83
proliferación de: 84-85
teosofía: 205
tercer mundo: 171, 199
termodinámica: 136, 140
Thomson, J.J.: 140
"tirón-de-la-necesidad" (modelo de innovación tecnológica): 147-148
Torricelli, Evangelista: 69-70, 72
Toulmin, Stephen: 209-210, 230
toxicidad LD_{50}, prueba de: 184
trasplante de órganos: 166

Unión Soviética: 115, 150, 182, 212
Un mundo feliz: 209

validez e invalidez: 25, 39
valores: 104-105, 121, 144, 161, 167, 173-175, 183, 197, 199, 204, 210, 216
vapor: 136, 140
Vegetable staticks: 47
Velikovsky, Emmanuel: 126-127, 226
verdad científica: 66
verdad y falsedad: 25
verificabilidad, principio de: 66
vida: 56, 93-102
vitalismo: 98
Voltaire: 204

Waddington, Conrad: 162, 227, 229
Wealth from knowledge: 147
Weber, Max: 121
Weinberg, Alvin: 167-168, 229
Wells, William Charles: 51-53, 61-62, 226
Whewell, William: 65-66, 226
White, A.D.: 216
Whitehead, Alfred North: 99-100, 220, 227, 230
Whittle, Frank: 139
Williams, B.R.: 154, 228
Woolgar, Steve: 145
Worlds in collision: 107
Wright, hermanos: 139

Ziman, John: 196, 225
Zuckerman, Harriet: 200, 230

impreso en publimex, s.a.
calz. san lorenzo 279-32
del. iztapalapa, c.p. 09850, d.f.
quinientos ejemplares y sobrantes
30 de septiembre de 2000

COLECCIÓN CIENCIA Y TÉCNICA

John D. Bernal: La proyección del hombre. Historia de la física clásica
Jean-Paul Collette: Historia de las matemáticas (dos vols.)
T.K. Derry y T.I. Williams: Historia de la tecnología (tres vols.)
Edward Frankel: DNA, el proceso de la vida
Loren R. Graham: Ciencia y filosofía en la Unión Soviética
Arthur Jores: La medicina en la crisis de nuestro tiempo
Zdenek Kopal y otros: La luna y el hombre
Alexandre Koyré: Del mundo cerrado al universo infinito
Alexandre Koyré: Estudios de historia del pensamiento científico
Alexandre Koyré: Estudios galileanos
André Lwoff: El orden biológico
Robert March: Física para poetas
Roberto Moreno-Díaz y José Mira Mira (comps.): Biocibernética. Implicaciones en biología, medicina y tecnología
Joseph Needham: De la ciencia y la tecnología chinas
O.Y. Ojlobistin: La tercera química
Haroun Tazieff: Cuando la tierra tiembla
Víctor Manuel Toledo, Julia Carabias, Cristina Mapes y Carlos Toledo: Ecología y autosuficiencia alimentaria. Hacia una opción basada en la diversidad biológica, ecológica y cultural de México
Norbert Wiener: Dios y Golem, S.A.

Aunque la ciencia moderna es inseparable de la sociedad que la sustenta, hoy más que nunca el científico tiende a especializarse excluyendo de su campo de visión a esta última. Stewart Richards argumenta que es vital invertir esta tendencia, esto es, que todos los estudiantes de ciencia –natural y social– deben considerar el contexto, las raíces y la estructura de sus disciplinas. Partiendo de la pregunta "¿qué significa ser científico?", el libro analiza primero la naturaleza del trabajo científico; las respuestas se desarrollan mediante la consideración de las bases filosóficas de la ciencia, desde Aristóteles hasta Feyerabend, y para ilustrar la discusión se utiliza el estudio de casos clásicos de investigación científica. La segunda parte considera las complejas interacciones entre ciencia y sociedad, incluyendo aspectos económicos y tecnológicos de la interrelación ciencia-industria. Después se bosquejan algunos temas especiales dentro de la sociología de la ciencia y se exploran también las dimensiones éticas de la ciencia, por ejemplo respecto al armamentismo y la guerra. Finalmente se aborda la delicada relación entre la ciencia y otros fenómenos culturales como el marxismo, la represión sexual y la religión. Estimulante y lúcido, este libro será importante para todo estudiante de ciencias naturales y sociales que desee ampliar los horizontes de su educación más allá de sus disciplinas individuales.

Stewart Richards es profesor de fisiología en el Wye Collage de la Universidad de Londres, y miembro visitante investigador de la Unidad de Historia, Filosofía y Relaciones Sociales de la Ciencia en la Universidad de Kent, Canterbury, Inglaterra.

2a. edición
siglo veintiuno editores

creative commons

968-23-1401-1
9 789682 314018